



# **Vergleich der Refraktion unter photopischen und mesopischen Bedingungen**

Bachelorthesis an der Hochschule Aalen, Studiengang Augenoptik  
Zur Erlangung des Titels Bachelor of Science (B.Sc.) Augenoptik

Eingereicht von Tobias Gürtler  
Matrikelnummer: 29067

Aalen, Juli 2012

Erstbetreuer: Prof. Dr. Annemarie Buser

Zweitbetreuer: Dipl.-Ing. Ralf Michels

# Inhaltsverzeichnis

## Zusammenfassung/Abstract

1. Einleitung.....	1
2. Grundlagen.....	3
2.1 Vorbereitungen zum subjektiven Abgleich .....	3
2.2 Zylindernebelmethode .....	3
2.3 Fan and Block Methode .....	5
2.4 Modifizierte Fan and Block Methode .....	7
3. Material und Methode .....	8
3.1 Ablaufschema.....	8
3.2 Objektive Refraktion .....	10
3.3 Strahlenkranz .....	11
3.3.1 Photopisch .....	11
3.3.2 Mesopisch .....	12
3.4 Helligkeit.....	14
3.4.1 Raumhelligkeit.....	14
3.4.2 Leuchtdichte der Sehzeichen .....	14
3.5 Optotypen.....	15
3.5.1 Kontrast.....	15
3.5.2 Landoltring .....	16
3.6 Bestimmung der Pupillenweite .....	17
3.7 Statistik.....	19
3.7.1 Differenz der sphärischen Äquivalente .....	19
3.7.2 Power-Vektor Analyse .....	20
4. Darstellung der Ergebnisse .....	24
4.1 Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln .....	24

4.1.1 Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung im Hellen .....	25
4.1.2 Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung im Dunkeln .....	27
4.2 Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln .....	29
4.2.1 Vergleich der subjektiven Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente.....	29
4.2.2 Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der Zylinder .....	30
4.3 Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und Dunkeln .....	32
4.3.1 Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente .....	33
4.3.2 Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der Zylinder.....	33
5. Diskussion .....	35
5.1 Erläuterung der Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln.....	35
5.1.1 Erläuterung der Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit Refraktionsbestimmung im Hellen .....	35
5.1.2 Erläuterung der Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung im Dunkeln.....	37
5.2 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln .....	38
5.2.1 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der subjektiven Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente .....	38
5.2.2 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der Zylinder .....	39
5.3 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und Dunkeln.....	40

5.3.1 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente .....	40
5.3.2 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der Zylinder .	41
5.4 Komplikationen.....	42
5.5 Fehlerquellen.....	42
6. Fazit.....	44
Ehrenwörtliche Erklärung	
Literaturverzeichnis	
Normen	
Abbildungsverzeichnis	

## **Zusammenfassung/Abstract**

Titel: Vergleich der Refraktion unter photopischen und mesopischen Bedingungen  
Autor: Tobias Gürtler  
Erstbetreuer: Prof. Dr. Annemarie Buser  
Zweitbetreuer: Dipl.-Ing. Ralf Michels  
Abgabedatum: 29.07.2012

Die vorliegende Arbeit hat sich zum Ziel gesetzt, subjektive Refraktionen im Hellen und im Dunkeln, welche beide mithilfe der modifizierten Fan and Block Methode durchgeführt wurden, miteinander zu vergleichen. Überdies soll die Reproduzierbarkeit der Messgenauigkeit der subjektiven Refraktionen sowohl für den photopischen als auch für den mesopischen Bereich überprüft werden. Die vorliegende Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit Nicole Zeller, deren Bachelorarbeit sich schwerpunktmäßig dem Vergleich der subjektiven und objektiven Refraktionen mittels Wellenfrontanalyse widmet.

Im Rahmen der Untersuchung wurden 35 Probanden objektiv und subjektiv unter photopischen und mesopischen Bedingungen refraktiert. Den Grundlagen der Refraktionen, im speziellen der Erläuterung der modifizierten Fan and Block Methode, und deren Durchführung widmet sich der Beginn der Arbeit. Im weiteren Verlauf liegt das Hauptaugenmerk auf der Darstellung und Erläuterung der Refraktionen, welche mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente und der Power-Vektor Analyse statistisch erfasst und ausgewertet wurden. Hierdurch gelangte die vorliegende Untersuchung zu dem Ergebnis, dass in der Dämmerung tendenziell eine geringe Änderung (im Bereich bis -0,5 Dioptrien) der subjektiven Refraktion in Richtung Myopie stattfindet. Überdies konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender Zylinderstärke die Refraktionsänderungen größer und häufiger werden. Mit Blick auf den objektiven Vergleich der Refraktionen konnte belegt werden, dass in der Dämmerung tendenziell eine geringe Verschiebung (im Bereich bis +0,5 Dioptrien) in Richtung Hyperopie festzustellen ist. Bei der Auswertung mittels der Power-Vektor Analyse konnte hierbei ermittelt werden, dass im Vergleich zum subjektiven Vergleich der Refraktionen die Streuung der Messwerte geringer ist, was darauf schließen lässt, dass die objektiven Refraktionsänderungen kleiner als

die subjektiven sind. Abschließend gelangt die Arbeit zu der Empfehlung, dass es aufgrund der nachweisbaren Refraktionsänderungen sinnvoll ist, individuell subjektiv zu überprüfen, ob und in welchem Ausmaß diese abhängig von den Beleuchtungsbedingungen vorliegen, um eine kunden- und situationsgerechte Versorgung zu gewährleisten.

## 1. Einleitung

Glaubt man einem bekannten deutschen Sprichwort, so sind im Dunkeln alle Katzen grau. Der Glaube an diese Volksweisheit ist mindestens so alt wie die Erforschung des dieser zugrunde liegenden Phänomens der Nachtmyopie.

Erstmalig wurde das Phänomen der Nachtmyopie von Nevil Maskelyne, einem Astronomen Royal, im Jahr 1789 beschrieben und beschäftigt seither viele Forscher<sup>1</sup>. Um 1940 verstärkte sich das Interesse am Phänomen der Nachtmyopie im Zusammenhang mit der Fernrohreinstellung bei Dämmerung und Nacht. Herbert Schober stellte 1947 diesbezüglich fest, dass die Ursache hauptsächlich in der „psychisch bedingten unbewussten Akkommodationsanstrengung“<sup>2</sup> läge. Seit den späten 60er Jahren wird in der augenoptischen Fachliteratur neben dieser und der zunehmenden Pupillenweite und der damit zusammenhängenden sphärischen Aberration auch die Verschiebung des Empfindlichkeitsmaximums des wahrnehmbaren Lichts als Ursache der Nachtmyopie angeführt. Neben der Forschung nach den Ursachen der Nachtmyopie wurden häufig auch Versuche unternommen deren Höhe zu ermitteln. Bezüglich der Höhe der Visusverschlechterung fand Richards auf Basis subjektiver Messungen im Jahr 1978 heraus, dass sich die Sehschärfe beim Vorhalten von -0,5 bzw. -0,75 Dioptrien um eine Visusstufe verbessert<sup>3</sup>. Die objektiven Messungen von Epstein aus dem Jahr 1981 gelangten zu einem ähnlichen Ergebnis. Epstein zufolge veränderte sich die Refraktion im mesopischen Bereich um 0,35 Dioptrien in Richtung Myopie, im skotopischen Bereich sogar um 1,01 Dioptrien<sup>4</sup>. Umso überraschender kamen die folgenden Forschungsergebnisse aus dem Jahr 2009. Eine Untersuchung von Degle und Hofmann zur Abhängigkeit der Refraktion von Beleuchtung und Pupillendurchmesser gelangte zu dem Ergebnis, dass keine gültige Aussage dazu getroffen werden könne, ob das Auge in der Dämmerung myoper werde oder nicht: Zwar konnten subjektiv geringe Refraktionsänderungen gemessen werden, jedoch ging die Refraktion in der Dämmerung nach objektiven Berechnungen in Richtung Hyperopie. Zurückgeführt wurde dies auf bereits erwähnte sphärische Aberration<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> Vgl. hierzu: Epstein, S. 400.

<sup>2</sup> Siehe: Schober, S. 185.

<sup>3</sup> Vgl. hierzu: Richards, S. 469.

<sup>4</sup> Vgl. hierzu: Epstein, S. 401.

<sup>5</sup> Vgl. hierzu: Degle/Hofmann, S. 40.

In der vorliegenden Arbeit soll nun erneut die subjektive Refraktionsänderung anhand eines Vergleichs der Refraktion bei mesopischen und photopischen Bedingungen untersucht werden, wobei im Gegensatz zu Degle und Hoffmann nicht die Kreuzzylindermethode sondern die modifizierte Fan and Block Methode zur Durchführung der subjektiven Refraktionen herangezogen wird.

Die vorliegende Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit Nicole Zeller, deren Bachelorarbeit sich schwerpunktmäßig dem Vergleich der subjektiven und objektiven Refraktionen mittels Wellenfrontanalyse widmet.



## **2. Grundlagen**

Im Folgenden sollen kurz die der Untersuchung zugrundeliegenden Refraktionsmethoden sowie deren Grundlagen dargestellt und erläutert werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass objektive Messwerte vorliegen, die im Rahmen der Untersuchung vorab mittels Autorefraktometer ermittelt wurden. Da die Augenpaare für die vorliegende Untersuchung unabhängig voneinander untersucht werden mussten, wurde auf eine Binokularprüfung aufgrund mangelnder Relevanz verzichtet.

### **2.1 Vorbereitungen zum subjektiven Abgleich**

Bevor man eine subjektive Refraktion durchführen kann, müssen folgende Schritte erfolgen: Die zuvor objektiv ermittelten Messwerte müssen in den Phoropter eingedreht werden. Aus pragmatischen Gründen wurde bei der vorliegenden Untersuchung auf den Einsatz einer Messbrille verzichtet. Bei der Justierung des Phoropters ist auf eine angenehme Sitzposition des Prüflings zu achten. Zudem ist zur Gewährleistung einer korrekten Abbildung sicher zu stellen, dass der Prüfling möglichst mittig durch die Messgläser blickt. Dies geschieht durch eine korrekt eingestellte Höhenposition und Pupillendistanz. Desweiteren muss darauf geachtet werden, dass nur das zu refraktionierende Auge geöffnet ist.

### **2.2 Zylindernebelmethode**

Die Zylindernebelmethode wurde ursprünglich eingesetzt, wenn objektive Refraktionswerte vorlagen. Sie verdankt ihren Namen dem Vorgang des Nebelns. Bevor man sich jedoch mittels Nebelns auf die Suche nach dem Zylinder begeben kann, muss zunächst ein subjektiver Abgleich durchgeführt werden, um einen korrekten Astigmatismus mixtus als Ausgangswert zu erhalten. Nun liegt der Kreis kleinster Verwirrung auf der Netzhaut und der Abstand der Brennpunkte entspricht dem Zylinderbetrag in Dioptrien. Um jetzt einen Astigmatismus myopicus simplex zu erhalten, muss ein sphärisches Glas mit dem Wert des halben Zylinderbetrags

vorgehalten werden. Hierzu wird der Zylinderwert auf der Erkenntnis basierend, dass der Visus pro eine Dioptrie Astigmatismus auf die Hälfte absinkt, geschätzt. Danach wird noch ein weiteres Plusglas mit +0,5 Dioptrien vorgehalten, um aus dem Astigmatismus myopicus simplex einen Astigmatismus myopicus compositus zu erhalten, bei welchem beide Brennpunkte vor der Netzhautebene und die Brennlinie des schwächer brechenden Hauptschnitts näher an der Netzhaut liegt<sup>6</sup>. Zur Berechnung des Nebelzusatzes gilt nun folgende Faustformel<sup>7</sup>:

$$\text{Nebelzusatz} = \text{sph} + (1/2 \text{ geschätzter Zylinder} + 0,5) \text{ dpt}$$

An einer nun gezeigten Strahlenfigur sieht der Prüfling aufgrund einer zu der schwächer brechenden Brennlinie parallelverlaufenden Strahlenkranzlinie eben diese Linie schwärzer. Die Strahlenfigur an sich sieht beispielhaft folgendermaßen aus:

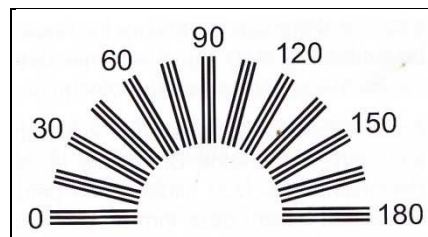


Abbildung 1: Strahlenfigur nach Snellen<sup>8</sup>

Nun wird die Nebelprobe durchgeführt. Da man die Zylinderstärke zuvor geschätzt hat, muss man diese jetzt überprüfen. Dies geschieht, indem der Prüfling weiterhin den Strahlenkranz in der am besten gesehenen Richtung beobachtet. Der Prüfer hält nun -0.25 Dioptrien vor und fragt, ob die schwärzeste Strichrichtung noch schwärzer wird. Ist dies der Fall, ist der schwächer brechende Hauptschnitt kurzsichtig und das Glas wird wieder entfernt. Wird die Strichrichtung nicht schwärzer, wird das Nebelglas verstärkt und der Vorgang solange wiederholt bis die Antwort „Ja“ ist. Aus der am Strahlenkranz am schwärzesten gesehenen Richtung resultiert die Achslage des Zylinders: Die Achse liegt senkrecht zur schwärzesten Richtung und ist folglich gleich gerichtet wie der stärker brechende Hauptschnitt. Um die Stärke des Zylinders zu ermitteln, wird der zuvor geschätzte und überprüfte Zylinderwert vorgehalten. Stimmt der Zylinderwert, wird der komplette Strahlenkranz in der gleichen

<sup>6</sup> Vgl. hierzu: Diepes, S.257.

<sup>7</sup> Siehe: Diepes, S. 259.

<sup>8</sup> Siehe: Diepes, S. 257.

Schwärzung gesehen. Ist der Zylinder noch zu schwach, bleibt die zuvor gesehene schwärzeste Richtung erhalten, wodurch angezeigt wird, dass der Zylinder noch erhöht werden muss. Schlägt die Schwärzung um  $90^\circ$  um, ist der Zylinderwert zu hoch und muss folglich abgeschwächt werden. Liegt eine Schwärzungswanderung vor, sprich die schwärzeste Strichrichtung dreht bei Änderung des Zylinderwerts in eine andere Achslage, ist höchstwahrscheinlich die Korrektionsachse falsch und muss überprüft werden. Abschließend wird der Prüfling sukzessive mit Minusgläsern am besten unter Zuhilfenahme des Rot-Grün-Tests, ansonsten anhand von Visustafeln, entnebelt.

### 2.3 Fan and Block Methode

Bei der Fan and Block Methode handelt es sich um eine Methode der Refraktion, die auf der bereits dargelegten Zylindernebelmethode beruht. Im Unterschied zu dieser wird aber eine modifizierte Strahlenfigur benutzt, deren Neuerungen auf einzelnen verbesserungsfähigen Elementen der Zylindernebelmethode beruhen. Die zu Zylindernebelmethode eingesetzte Strahlenfigur enthält nämlich nur eine kleine Auswahl unendlich vieler Strichrichtungen. Folglich kann die Angabe des Prüflings nur ungenau erfolgen, was beim späteren Einsetzen des Korrektionszylinders zu Komplikationen führen kann. Für den Fall, dass die wirklichen Hauptschnitttrichtungen zwischen zwei Strichen der Strahlenfigur liegen, werden beide sogar gleich schwarz gesehen<sup>9</sup>. Die Fan and Block Methode versucht nun zu genaueren Ergebnissen zu gelangen, indem in der Mitte der Strahlenfigur zusätzlich ein drehbarer Pfeil, auch Maddox-V genannt, mit zwei Linienblöcken in und gegen Pfeilrichtung angebracht wird, wie die folgende Abbildung zeigt:

---

<sup>9</sup> Vgl. hierzu: Diepes, S. 260.

Abbildung 2: Strahlenfigur mit Maddox-V<sup>10</sup>

Genau wie bei der Zylindernebelmethode, wird auch bei der Fan and Block Methode zunächst das Nebelglas nach der oben angeführten Faustformel bestimmt und eingesetzt. Anschließend wird dem Prüfling die Strahlenfigur gezeigt und versucht die schwärzeste Richtung zu ermitteln. Durch den drehbaren Pfeil ist nun eine genauere Bestimmung möglich, da dieser als Indikator für die Annäherung an die Achsrichtung fungiert: Solange die gesuchte Achsrichtung noch nicht gefunden ist, weist eine Pfeilhälfte eine ausgeprägtere Schwärzung auf, die anzeigt, dass der Pfeil noch weiter in Richtung der Pfeilhälfte mit der weniger ausgeprägten Schwärzung bewegt werden muss. Zeigen beide Pfeilspitzen die gleiche Schwärzung, so hat man die gesuchte Korrektionsachse gefunden: Sie liegt nun senkrecht zur Pfeilrichtung. Zur Zylinderwertbestimmung wird jetzt der zuvor geschätzte Zylinder eingesetzt und der Blick des Probanden auf die beiden Blöcke unterhalb des Pfeils gerichtet. Sind die Striche des Blockes in Pfeilrichtung schwärzer, muss der Zylinderwert bei Minuszylindern noch erhöht werden. Sind hingegen die Striche des Blockes entgegen der Pfeilrichtung schwärzer, muss der Zylinderwert abgeschwächt werden. Bei Gleichheit der Blöcke ist der Korrektionswert gefunden. Zur Kontrolle dient der äußere Strahlenkranz, der nun ebenfalls gleichmäßig gesättigt erscheint. Abschließend wird der Prüfling analog zur Zylindernebelmethode sukzessive mit Minusgläsern am besten unter Zuhilfenahme des Rot-Grün-Tests, ansonsten anhand von Visustafeln, entnebelt<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Siehe: Baader, S. 9.

<sup>11</sup> Vgl. hierzu: Baader, S.9f.

## **2.4 Modifizierte Fan and Block Methode**

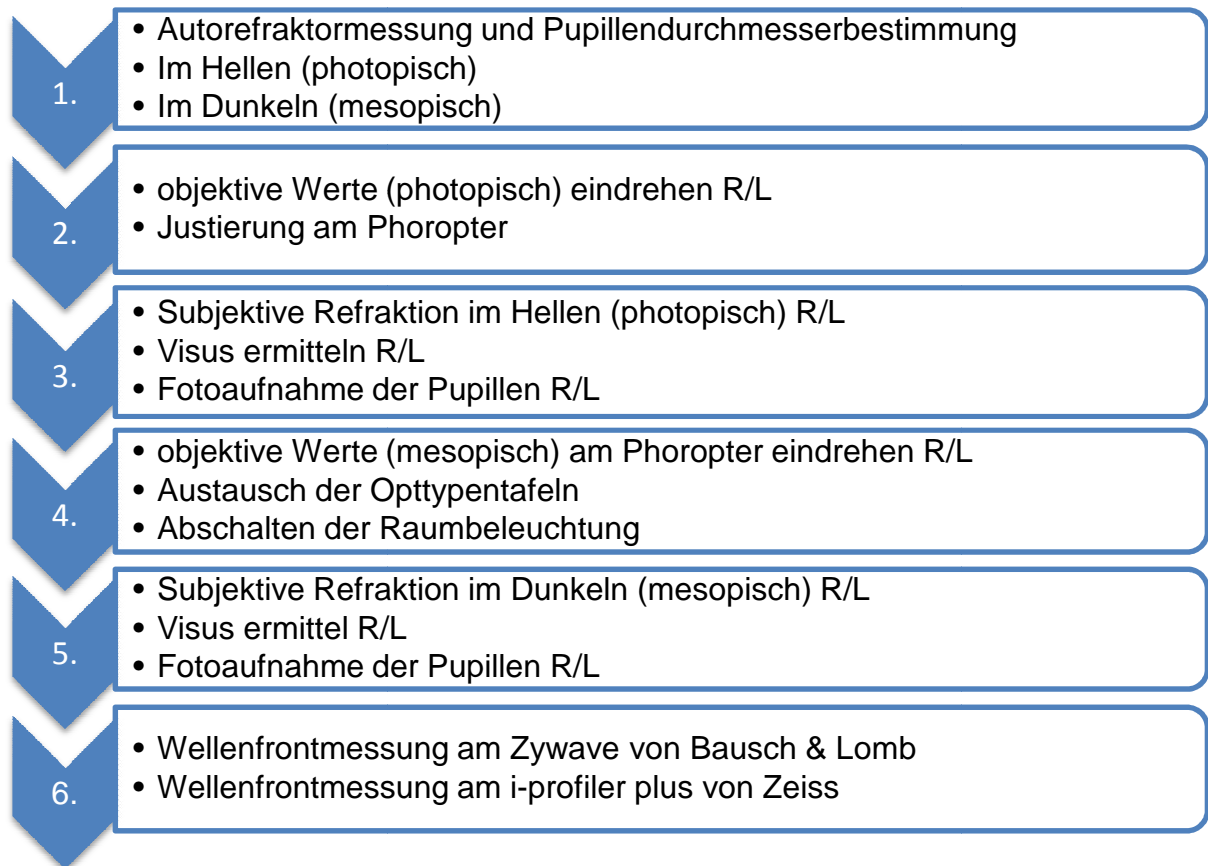
Bei der modifizierten Fan and Block Methode handelt es sich, wie der Name schon verrät, um eine Modifikation der soeben beschriebenen Fan and Block Methode. Die Modifikation beruht darauf, dass als Ausgangswerte für die Refraktion objektive Werte, die durch Autorefraktion oder Skiaskopie ermittelt wurden, vorliegen. Hierdurch entfällt die aufwändige Bestimmung des Nebelzusatzes. Die Refraktion beginnt mit dem Einsetzen der objektiven Werte, die zunächst sphärisch abgeglichen werden. Im Anschluss wird, um den angestrebten Astigmatismus myopicus compositus zu erreichen, ein Nebelglas mit 0,5 Dioptrien eingesetzt und der objektive Zylinder entfernt. Analog zum oben beschriebenen Verfahren erfolgt die Ermittlung der Korrektionsachse. Zur Zylinderwertbestimmung wird der objektiv gemessene Zylinderwert wieder in den Phoropter eingesetzt und ein Stärkenabgleich analog zum oben beschriebenen Verfahren durchgeführt. Abschließend wird entnebelt.

### **3. Material und Methode**

Im Folgenden wird nun näher auf die Durchführung der Refraktion und die hierfür verwendeten Materialien eingegangen. Im Verlauf der Untersuchung wurden insgesamt 35 Prüflinge refraktiert. Da die Augenpaare, wie bereits erwähnt, für die vorliegende Untersuchung unabhängig voneinander untersucht werden mussten, wurde auf eine Binokularprüfung aufgrund mangelnder Relevanz verzichtet. Folglich standen 70 Augen zur Prüfung. Um Aussagen über die Reproduzierbarkeit der subjektiven Refraktionen treffen zu können, wurde jeder Prüfling zweimal refraktiert. Zunächst wurde hierbei eine objektive Refraktion im photopischen und mesopischen Bereich, anschließend eine subjektive Refraktion in beiden Bereichen anhand der modifizierten Fan and Block Methode durchgeführt. Als Sehtesttafeln wurden Landoltringe verwendet und ein Prüfabstand von 5 Metern festgelegt.

#### **3.1 Ablaufschema**

Das folgende Schema zeigt den Ablauf der einzelnen Refraktionstermine. Mit Ausnahme der Autorefraktormessung war der Ablauf beim Wiederholungstermin identisch:



Wie der Abbildung zu entnehmen ist, begann jeder erste Refraktionstermin mit der Autorefraktormessung. Zuerst wurden hierbei bei eingeschalteter Raumbeleuchtung, im photopischen Bereich, die objektiven Werte ermittelt. Anschließend wurde ebenfalls mittels Autorefraktometer die Pupillenweite vermessen. Hiernach erfolgten dieselben Messungen im verdunkelten Raum ohne Raumbeleuchtung, im mesopischen Bereich. Im zweiten Schritt wurden die ermittelten Werte in den Phoropter eingedreht. Danach nahm der Proband am Phoropter Platz und es erfolgte die Einstellung der Höhe und Pupillendistanz. Den nächsten Schritt stellte die subjektive Refraktion im Hellen am rechten Auge dar, an die sich die Visusermittlung anknüpfte. Derselbe Prozess wurde für das linke Auge durchgeführt. Im Anschluss daran wurden beide Pupillen getrennt voneinander mittels Digitalkamera und Stativ fotografiert. Im Folgenden fand nun die Messung im mesopischen Bereich statt: Hierzu mussten zunächst die objektiv ermittelten Werte im Phoropter eingestellt und die Optotypentafeln ausgetauscht werden. Anschließend wurde die Raumbeleuchtung ausgeschaltet und nach einer kurzen Wartezeit, in der sich der Prüfling an die veränderten Lichtverhältnisse gewöhnen konnte, die Refraktion an beiden Augen nacheinander durchgeführt. Wiederum knüpfte die Visusermittlung an

die Refraktion an und es erfolgte anschließend die Fotografie der Pupillen im mesopischen Bereich. Abschließend erfolgte eine Wellenfrontmessung am Zywave von Bausch & Lomb und eine weitere am i-profiler plus von Zeiss<sup>12</sup>.

#### 3.2 Objektive Refraktion

Für die objektive Refraktion und die Ermittlung der Pupillendurchmesser, sowohl im Hellen wie auch im Dunkeln, wurde der unten abgebildete HRK-7000A Autorefraktometer der Firma Huvitz verwendet. Die ermittelten Werte dienten als Ausgangswerte für die subjektiven Refraktionen im photopischen und mesopischen Bereich mittels modifizierter Fan and Block Methode. Die objektiven Messungen wurden nur am ersten Refraktionstermin durchgeführt, aber zu beiden Refraktionsterminen als objektive Ausgangswerte herangezogen.



Abbildung 3: Autorefraktometer Huvitz HRK-7000A

---

<sup>12</sup> Die vergleichende Auswertung der Ergebnisse der Messungen an den Wellenfrontgeräten ist Bestandteil der bereits erwähnten Arbeit von Nicole Zeller und deshalb für die vorliegende Arbeit nicht weiter von Belang.



### 3.3 Strahlenkranz

Als Strahlenkranzfigur zur subjektiven Refraktion mittels der modifizierten Fan and Block Methode wurde die bereits oben erwähnte und in Abbildung 2 abgedruckte Figur verwendet. Für die Messungen im photopischen und mesopischen Bereich waren jedoch noch Modifikationen nötig, die im Folgenden erläutert werden:

#### 3.3.1 Photopisch

Für die Messungen im photopischen Bereich wurde die von Maximilian Baader modifizierte Strahlenkranzfigur verwendet, die in Abbildung 4 dargestellt ist:

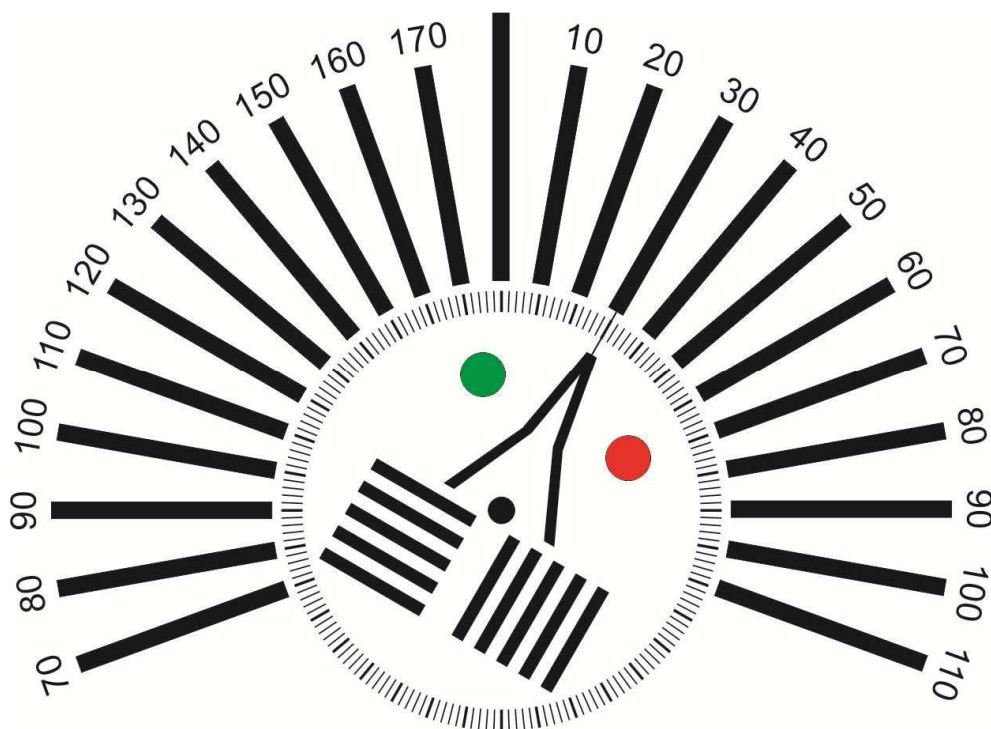


Abbildung 4: Strahlenkranzfigur nach Baader<sup>13</sup>

Sie weist im Vergleich zur Strahlenfigur aus Abbildung 2 folgende Modifikationen auf: Die Strichrichtungen wurden mit der Angabe der zugehörigen Korrektionsachse beschriftet, zusätzlich wurden Strichmarkierungen in 2-Grad-Abstufungen zur

<sup>13</sup> Siehe: Baader, S. 13.

genaueren Bestimmung der Achse eingefügt und überdies farbige Punkte zur vereinfachten Kommunikation bezüglich der Drehung des Pfeils mit dem Probanden eingearbeitet. Zudem wurde zur einfacheren Bedienung des Pfeils der gesamte Strahlenkranz am PC umgesetzt, sodass der Pfeil nun mittels PC Tastatur in 2-Grad-Schritten rotiert werden kann. Ein weiterer Vorteil der Darbietung am PC liegt in der Erhöhung des Kontrasts des Strahlenkranzes<sup>14</sup>.

#### **3.3.2 Mesopisch**

Für die Messungen im mesopischen Bereich musste die Strahlenkranzfigur nach Baader noch weiter modifiziert werden. In einem ersten Schritt wurden die farbigen Punkte entfernt, da diese bei den angestrebten Messungen nicht von Nutzen sein konnten. Sie wurden durch ein schwarzes Dreieck und einen schwarzen Kreis ersetzt, welche zumindest bei niedrigen Zylindern auch im Dunkeln noch erkannt werden können und somit die Aufgabe der farbigen Kreise übernehmen. In einem zweiten Schritt wurden vier zusätzliche kleinere und feinere Balkengruppen ergänzt, um bei gleicher Schwärzung der großen ursprünglichen Balkengruppen durch den Abgleich der beiden nächstkleineren Balkengruppen eine genauere Bestimmung der Zylinderstärke zu ermöglichen. Die beiden beschriebenen Modifikationen führten zu folgender vorläufiger Strahlenkranzfigur:

---

<sup>14</sup> Vgl. hierzu: Baader, S. 12.

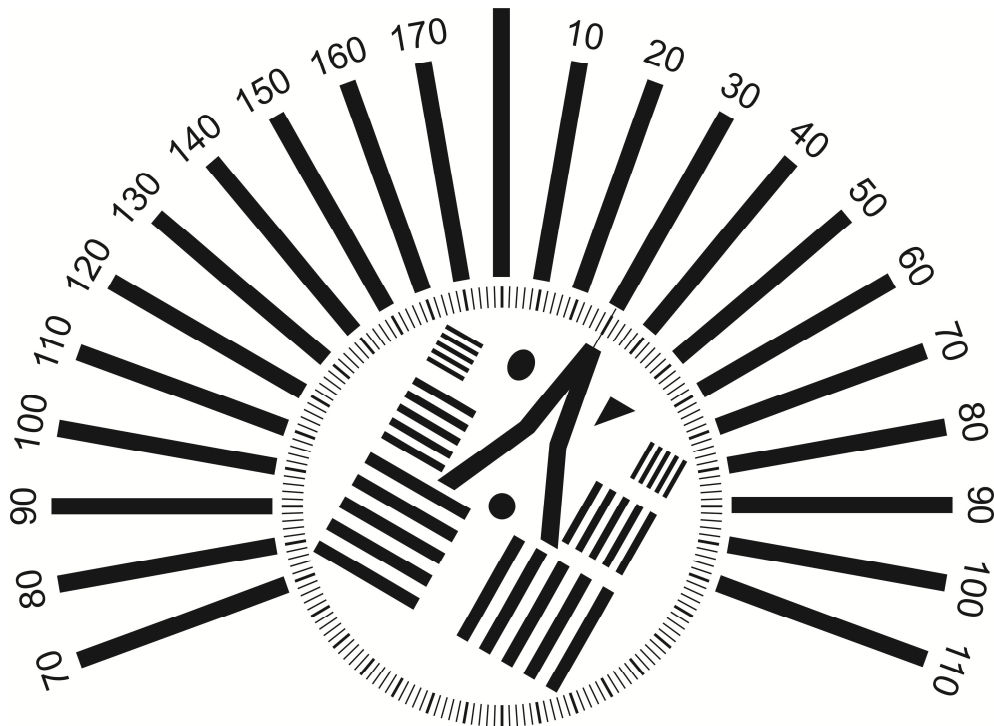


Abbildung 5: Strahlenkranzfigur mit Punkt, Dreieck und vier zusätzlichen Balkengruppen

Bei der soeben abgebildeten Strahlenkranzfigur wurde die Umfeldleuchtdichte solange verdunkelt, bis mittels eines Leuchtdichtemessgeräts (Minolta LS-110) Werte im mesopischen Bereich ermittelt werden konnten. Abschließend ergab sich folgende Version des Strahlenkranzes für die Messungen im mesopischen Bereich:



Abbildung 6: Strahlenkranzfigur, modifiziert für den mesopischen Bereich

### 3.4 Helligkeit

An dieser Stelle soll nun speziell auf die für die Refraktion wichtige Raumhelligkeit eingegangen werden. Anschließend folgen grundlegende Überlegungen zur Leuchtdichte der Sehzeichen

#### 3.4.1 Raumhelligkeit

Für die vorliegende Untersuchung wurde die Raumhelligkeit am Auge mit zwei Beleuchtungsstärkemessgeräten ermittelt: dem PCE-174 und dem LMT Pocket Lux 2. Das PCE-174 ermittelte für den photopischen Bereich 890 Lux und für den mesopischen Bereich 0 Lux. Die Messungen mit dem LMT Pocket Lux 2 führten zu 1050 Lux im photopischen Bereich und zu 0,16 Lux im mesopischen Bereich.

#### 3.4.2 Leuchtdichte der Sehzeichen

Generell unterscheidet man in der physiologischen Optik drei Leuchtdichtebereiche: das skotopische, das mesopische und das photopische Sehen. Beim skotopischen Sehen, auch Nachtsehen genannt, sind die Leuchtdichten kleiner als  $10^{-3} \text{ cd/m}^2$ . Von mesopischem Sehen, auch Dämmerungssehen genannt, spricht man bei Leuchtdichten zwischen  $10^{-3} \text{ cd/m}^2$  und  $10 \text{ cd/m}^2$ . Ab  $10 \text{ cd/m}^2$  Leuchtdichte spricht man dann schließlich vom photopischen Sehen, auch Tagessehen genannt. Die Übergänge zwischen den Bereichen sind fließend.

Im photopischen Bereich ist bezüglich der Leuchtdichte von Sehzeichen nach DIN EN ISO 8596 darauf zu achten, dass die Umfeldleuchtdichte zwischen  $80 \text{ cd/m}^2$  und  $320 \text{ cd/m}^2$  liegt. Der angegebene Maximalwert ist sinnvoll, da eine zu hohe Umfeldleuchtdichte die Pupille des Prüflings kleiner werden lässt und folglich zu einem weniger genauen Refraktionsergebnis führt. Der Minimalwert orientiert sich an den Ergebnissen der Untersuchung von Hartmann aus dem Jahr 1970, welchen zu Folge oberhalb einer Umfeldleuchtdichte von  $100 \text{ cd/m}^2$  der ermittelte Visus von der Umfeldleuchtdichte nahezu unabhängig ist. Neben den Absolutwerten der Umfeldleuchtdichte ist auch der Kontrast zwischen Infeld und Umfeld zu

berücksichtigen<sup>15</sup>. Hierauf wird genauer im folgenden Kapitel in Zusammenhang mit den Optotypen eingegangen.

### 3.5 Optotypen

Im Folgenden sollen die bereits erwähnten für die Refraktion eigens modifizierten Optotypentafeln samt einigen Überlegungen bezüglich des notwendigen Kontrasts skizziert und erläutert werden.

#### 3.5.1 Kontrast

Wie bereits angedeutet, hat bei der Refraktion der Kontrast zwischen der dunklen Fläche des Sehzeichens (Infeld) und der unmittelbaren Umgebung (Umfeld) Einfluss auf das Ergebnis der Sehschärfebestimmung<sup>16</sup>. Er kann folgendermaßen definiert werden, wobei  $L_i$  die Leuchtdichte des Ringes selbst (Infeld) und  $L_u$  die Leuchtdichte des Umfelds ist:

$$\frac{L_u - L_i}{L_u} = K_W$$

(Weber-Kontrast)

Der sogenannte Weber-Kontrast ist zur Normierung der Leuchtdichte der Optotypen zur Visusbestimmung heranzuziehen. Nach DIN EN ISO 8596, die sich erneut an den Ergebnissen von Hartmann aus dem Jahr 1970 orientiert, darf die Leuchtdichte des Normsehzeichens, unter Berücksichtigung der Raumbeleuchtung, nicht mehr als 15% der Leuchtdichte des Prüffeldes betragen. Setzt man dies in die soeben angeführte Gleichung ein, ergibt sich:

---

<sup>15</sup> Vgl. hierzu: Diepes, S. 72.

<sup>16</sup> Vgl. hierzu: Hartmann, S. 62-65.

$$K_W = \frac{L_u - 0,15 \cdot L_u}{L_u} = \frac{0,85}{1} = 0,85$$

Folglich ist ab einem Weber-Kontrast von 0,85 eine Abhängigkeit zwischen der gemessenen Sehschärfe und dem Kontrast nicht mehr gegeben und somit keine Verfälschung der Sehschärfebestimmung zu erwarten.

Bei der vorliegenden Untersuchung betrug die Umfeldleuchtdichte im photopischen Bereich  $L_u$  360  $\text{cd/m}^2$  und die Infeldleuchtdichte  $L_i$  1,84  $\text{cd/m}^2$ . Im mesopischen Bereich wurde eine Umfeldleuchtdichte von  $L_u$  1,9  $\text{cd/m}^2$  und eine Infeldleuchtdichte von  $L_i$  0,25  $\text{cd/m}^2$  gemessen. Setzt man die Werte in die oben angegebene Formel ein, so ergibt sich für den photopischen Bereich ein Weber-Kontrast von 0,99 und für den mesopischen Bereich ein Weber-Kontrast von 0,87. Folglich ist in beiden Bereichen keine Verfälschung der Sehschärfenbestimmung durch die Lichtverhältnisse zu erwarten.

### 3.5.2 Landoltring

Bei den Landoltring-Sehzeichen handelt es sich um die nach DIN EN ISO 8596 festgelegten Normsehzeichen. Diese internationale Norm legt eine Reihe von Landoltring-Sehzeichen fest und beschreibt ein Verfahren „zur Messung der Sehschärfe für die Ferne unter Tageslichtbedingungen für gutachterliche Zwecke und Zulassungsverfahren“<sup>17</sup>. Für die Refraktionsbestimmung fungiert diese Norm lediglich als eine Art Richtschnur, an welcher sich die Sehzeichen und Sehproben orientieren sollen. Beim Landoltring als Normsehzeichen ist die Strichdicke gleich der Lückenbreite. Der Außendurchmesser beträgt das Fünffache und der Innendurchmesser das Dreifache der Lückenbreite. Der Landoltring an sich kann insgesamt acht verschiedene Positionen einnehmen. Bei normgerechter Refraktion muss mehr als die Hälfte der Landoltringe entsprechender Größe in einer Reihe richtig erkannt werden, damit die Visusstufe als erreicht gilt<sup>18</sup>.

Zur Visusprüfung im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde eine Landoltringtafel mit je 5 Optotypen pro Visusstufe verwendet. Als Prüfabstand

---

<sup>17</sup> Siehe: Diepes, S. 64.

<sup>18</sup> Vgl. hierzu: Diepes, S. 66.

wurden 5 Meter festgelegt. Die verwendete Landoltringtafel ist in Abbildung 7 zu sehen:

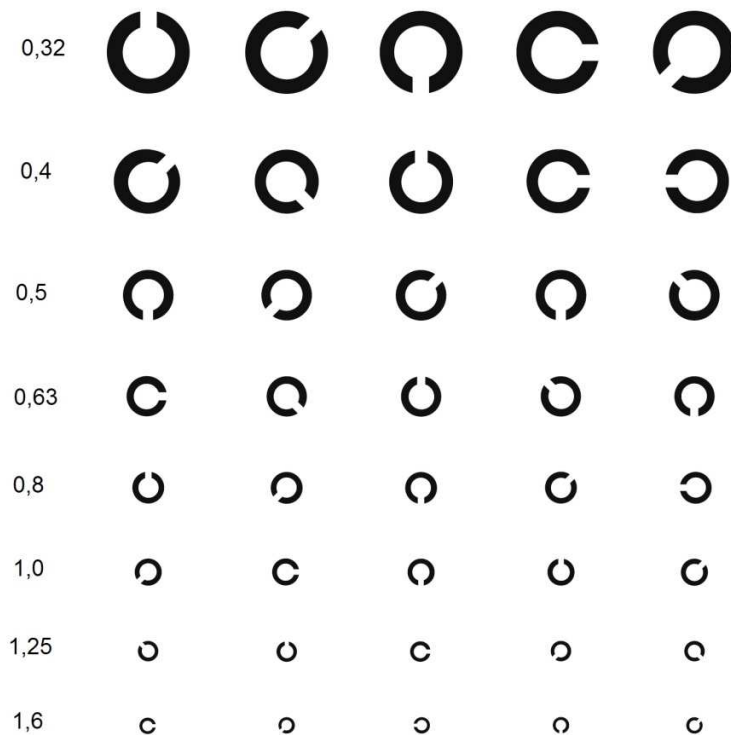


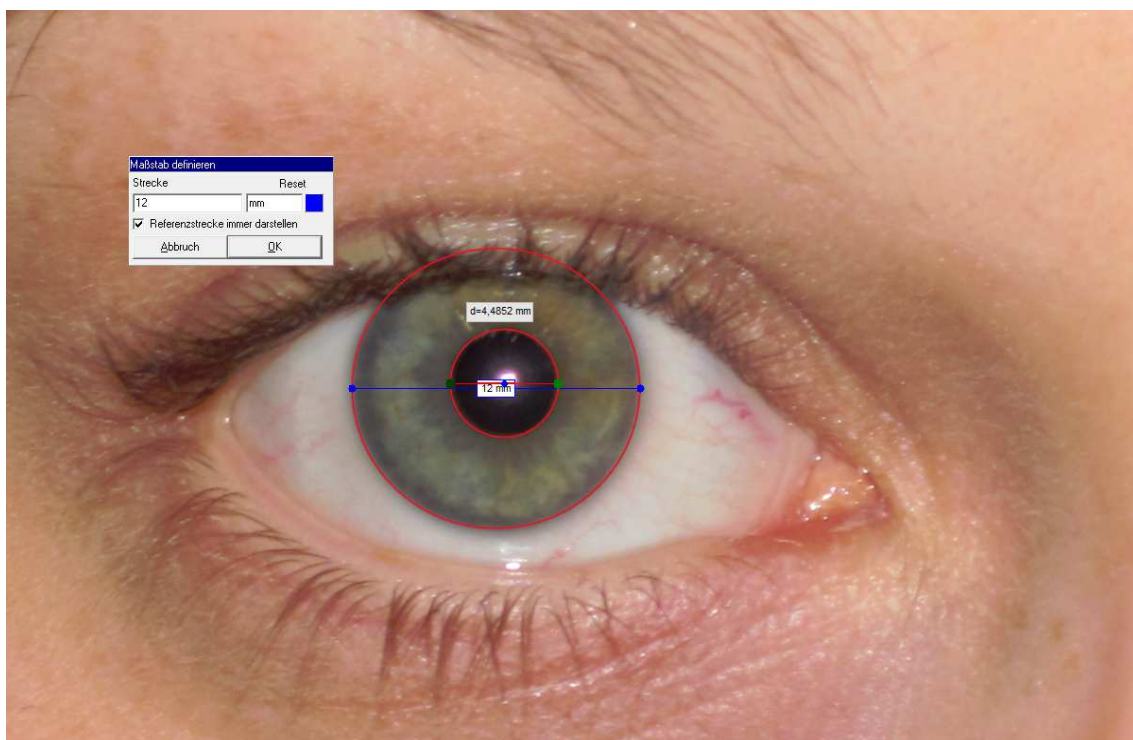
Abbildung 7: Sehtesttafel mit Landoltringen, Visusstufen für 5 m Prüferentfernung

Für Messungen im Dunkeln wurde die Umfeldleuchtdichte solange reduziert, bis mittels eines Leuchtdichtemessgeräts (Minolta LS-110) Werte im mesopischen Bereich ermittelt werden konnten. Hierbei war stets zu beachten, dass der oben beschriebene Weber-Kontrast über einem Wert von 0,85 lag, um Verfälschungen der Visusbestimmung zu vermeiden. Zudem sollte die Umfeldleuchtdichte der Landoltringe der Umfeldleuchtdichte des oben beschriebenen Strahlenkranzes entsprechen.

### 3.6 Bestimmung der Pupillenweite

Wie dem Ablaufschema der Refraktion zu entnehmen ist, wurde die Pupillenweite im Rahmen dieser sowohl im Hellen als auch im Dunkeln bestimmt. Hierzu wurden die Pupillen getrennt voneinander am Ort der Refraktion mittels einer Digitalkamera, welche auf einem Stativ befestigt war, fotografiert. Für die Aufnahmen im Dunkeln wurde der Blitz der Kamera verwendet, wobei aufgrund der Latenzzeit der Pupillen die Pupillendurchmesser hierdurch nicht verkleinert wurden. Die Vermessung der

Pupillen wurde mithilfe eines digitalen Lineals am PC durchgeführt. Hierzu wurden als Referenzwerte die Hornhautdurchmesser der Prüflinge benötigt, die im OCULUS Keratographen der Hochschule bereits aus früheren Messungen gespeichert waren. Die Hornhautdurchmesser und die Pupillendurchmesser wurden mithilfe eines Grafikprogramms, wie in Abbildung 8 ersichtlich, in die Digitalaufnahmen eingezeichnet. Anschließend wurden die beiden Durchmesserlinien unter Bezugnahme auf die Referenzwerte für den Hornhautdurchmesser mittels des digitalen Lineals verglichen, woraus die Werte für die Pupillendurchmesser resultierten.



**Abbildung 8: Kennzeichnung von Hornhaut- und Pupillendurchmesser im photopischen Bereich**

Die Werte für die Pupillendurchmesser lagen bei der ersten Messung im Hellen durchschnittlich bei 4,58 mm. Der Maximalwert betrug 6,8 mm, der Minimalwert 3,19 mm. Die zweite Messung im Hellen lieferte einen Durchschnittswert von 4,75 mm, das Maximum lag bei 6,8 mm, das Minimum bei 3,25 mm. Bei der ersten Messung im Dunkeln ergab sich ein Durchschnittswert von 6,76 mm. Der Maximalwert betrug 8,94 mm, der Minimalwert 5,35 mm. Die zweite Messung im Dunkeln lieferte einen Durchschnitt von 6,78 mm, wobei der Maximalwert bei 9,1 mm und der Minimalwert bei 4,2 mm lag. Die Verarbeitung der Ergebnisse ist der bereits erwähnten Bachelorthesis von Nicole Zeller zu entnehmen.



### 3.7 Statistik

An dieser Stelle werden nun die zur statischen Auswertung gewählten Kriterien zur Beurteilung der Messverfahren kurz dargestellt. Zum einen handelt es sich hierbei um die Differenz der sphärischen Äquivalente, welche einen Vergleich der Refraktionen hinsichtlich ihrer sphärischen Anteile ermöglicht. Zum anderen wird die Power-Vektor Analyse herangezogen, da diese einen direkten Vergleich zweier astigmatischer Messergebnisse ermöglicht. Dies stellt einen großen Vorteil gegenüber der Mehrheit der herkömmlichen Verfahren dar, welche Fehlsichtigkeiten durch eine sphärische Komponente, den astigmatischen Anteil und dessen Achslage beschreiben und folglich nicht die Möglichkeit bieten, zwei astigmatische Messergebnisse direkt miteinander zu vergleichen.

#### 3.7.1 Differenz der sphärischen Äquivalente

Zur Bewertung des sphärischen Anteils der Messergebnisse wurden die sphärischen Äquivalente nach folgender Formel<sup>19</sup> ermittelt:

$$S\ddot{A} = S + \frac{1}{2}C$$

Durch die Differenz der sphärischen Äquivalente, welche die folgende Formel liefert, wird ein Vergleich der Refraktionen hinsichtlich ihrer sphärischen Anteile möglich:

$$DS\ddot{A} = \Delta S\ddot{A} = S\ddot{A}_{1. \text{ Refraktion}} - S\ddot{A}_{2. \text{ Refraktion}}$$

---

<sup>19</sup> Siehe: Wesemann (2005), S. 40.

### 3.7.2 Power-Vektor Analyse

Bei der Power-Vektor Analyse handelt es sich um ein spezielleres Verfahren zur Analyse der Zylinderstärken- und Achsenfehler. Bei der von Thibos, Wheeler und Horner entwickelten Fehleranalyse<sup>20</sup> wird der Astigmatismus mittels Vektorenzerlegung in eine horizontale/vertikale 0°/90°-Komponente ( $J_0$ ) und eine schräge 45°/135°-Komponente ( $J_{45}$ ) zerlegt<sup>21</sup>. Dieses Vorgehen veranschaulicht folgendes Schaubild:

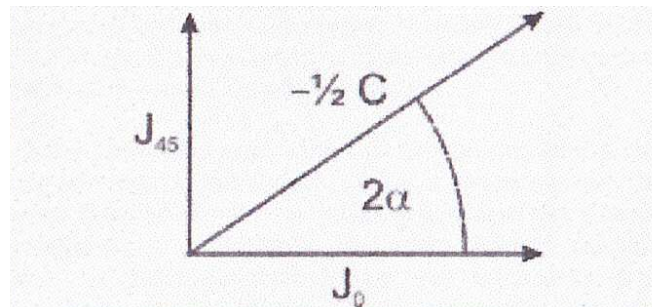


Abbildung 9: Vektorenzerlegung der zylindrischen Korrektur<sup>22</sup>

Das sphärische Äquivalent  $S\ddot{A}$  beschreibt hierbei den sphärischen Anteil. Es gelten die folgenden mathematischen Zusammenhänge<sup>23</sup>:

$$S\ddot{A} = S + \frac{1}{2}C$$

$$J_0 = -\frac{1}{2}C \cdot \cos(2\alpha)$$

$$J_{45} = -\frac{1}{2}C \cdot \sin(2\alpha)$$

<sup>20</sup> Zur detaillierteren Darstellung der Analyse siehe: Thibos, Wheeler, Horner (1997).

<sup>21</sup> Vgl. hierzu: Wesemann (2004), S. 9.

<sup>22</sup> Siehe: Wesemann (2005), S. 40.

<sup>23</sup> Siehe: Wesemann (2005), S. 40.

Im Gegensatz zu vielen herkömmlichen Verfahren, die Fehlsichtigkeiten durch eine sphärische Komponente, einen astigmatischen Anteil und dessen Achslage beschreiben, ermöglicht die Power Vektoren-Analyse eine Beschreibung von Ametropien ohne Achsangabe und folglich einen direkten Vergleich zweier astigmatischer Messergebnisse. Durch einen Power Vektor mit drei Komponenten ( $S\ddot{A}$ ,  $J_0$ ,  $J_{45}$ ), die als Einheit allesamt Dioptrie tragen, wird die Ametropie vollständig beschrieben<sup>24</sup>. Somit kann man Abweichungen zwischen *zylindrischen* Refraktionen unterschiedlicher Stärke und Achse mithilfe der Differenz der Power Vektoren ( $\Delta J$ ) eben jener Refraktionen vergleichen. Es gilt hierbei:

$$\Delta J = (\Delta J_0, \Delta J_{45})$$

$$\Delta J_0 = (J_0 \text{ 1. Refraktion} - J_0 \text{ 2. Refraktion})$$

$$\Delta J_{045} = (J_{45} \text{ 1. Refraktion} - J_{45} \text{ 2. Refraktion})$$

$$AD = \sqrt{\Delta J_0^2 + \Delta J_{45}^2} = \sqrt{(J_{01} - J_{02})^2 + (J_{451} - J_{452})^2}$$

Die auf soeben beschriebene Weise ermittelte astigmatische Differenz kann anhand eines Zielscheibendiagramms veranschaulicht werden. Für beide Achsen wird hierzu die Umrechnung von astigmatischer Differenz AD zu totaler astigmatischer Differenz TAD vorgenommen, um mit der TAD ein Maß für die Gesamtfehler der Astigmatismusbestimmung zu erhalten. Die TAD entspricht der Vektorendifferenz zweier refraktiver Ergebnisse:

$$TAD = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 - 2C_1C_2 \cos(2(\alpha_1 - \alpha_2))}$$

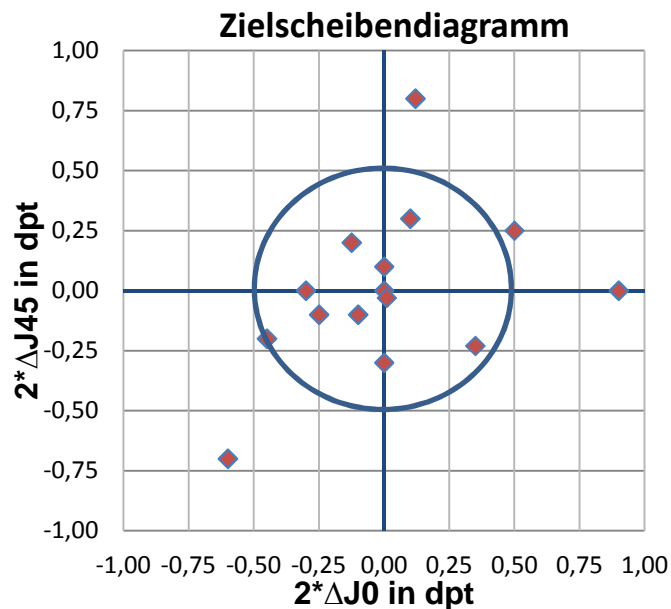
<sup>24</sup> Vgl. hierzu: Wesemann (2005), S. 40.

Zur Umrechnung werden nun  $C_1/\alpha_1$  und  $C_2/\alpha_2$  in die Gleichung für das Quadrat von AD eingesetzt.

$$AD^2 = \left( -\frac{1}{2}C_1 \cos 2\alpha_1 + \frac{1}{2}C_2 \cos 2\alpha_2 \right)^2 + \left( -\frac{1}{2}C_1 \sin 2\alpha_1 + \frac{1}{2}C_2 \sin 2\alpha_2 \right)^2$$

Multipliziert man nun aus und formt um, so gelangt man zu dem Ergebnis:

$$TAD = 2AD$$



**Abbildung 10: Exemplarische Zielscheibendiagramm zur graphischen Auswertung einer Power-Vektor Analyse**

Im Zielscheibendiagramm kann man nun erkennen, wie ähnlich sich die zu vergleichenden Refraktionen der Datenpunkte sind. Hierbei gilt: Je näher ein Punkt am Nullpunkt des Koordinatensystems liegt, desto ähnlicher sind sich die Refraktionen des Datenpunktes. Liegt ein Punkt auf dem Nullpunkt des Koordinatensystems sind die Refraktionen des Datenpunktes identisch. Vergleicht man die Positionen aller Datenpunkte, werden überdies empirische Aussagen möglich. Der eingezeichnete Kreis dient hierbei zur Orientierung und kennzeichnet im Fallbeispiel aus Abbildung 15 eine totale astigmatische Differenz von 0,5 Dioptrien. Innerhalb dieses Kreises liegen die Datenpunkte, bei welchen der Vergleich der

Refraktionen zu relativ kleinen Refraktionsänderungen im Bereich von  $\pm 0,5$  Dioptrien führte.

## **4. Darstellung der Ergebnisse**

An dieser Stelle werden nun die Ergebnisse der durchgeführten Refraktionen dargestellt. Wie bereits erwähnt, wurden im Verlauf der Untersuchung insgesamt 35 Prüflinge, was 70 Augen entspricht, refraktiert. Ihr Alter lag zwischen 21 und 54 Jahren. Bei den Probanden handelte es sich um Studierende und Mitarbeiter der Hochschule Aalen. Zur Auswertung wurden, wenn nicht anders gekennzeichnet, die Refraktionswerte des ersten Refraktionstermins verwendet, da nur an diesem sowohl objektiv mittels Autorefraktometer als auch subjektiv refraktiert wurde. Die objektiven Refraktionsergebnisse lagen für den photopischen Bereich bezüglich des sphärischen Äquivalents bei +2,875 bis -8 Dioptrien. Die Zylinderwerte lagen bei bis zu -3 Dioptrien. Für den mesopischen Bereich wurden hinsichtlich des sphärischen Äquivalents Werte im Bereich von +3,125 bis -7,75 Dioptrien ermittelt. Die Zylinderwerte lagen bei bis zu -3 Dioptrien. Zwar wurde an beiden Terminen objektiv mittels Wellenfrontgeräten gemessen, jedoch finden diese Messungen ihre Auswertung in der bereits mehrfach erwähnten Arbeit von Nicole Zeller und bleiben folglich für die vorliegende Arbeit unberücksichtigt.

Im vorliegenden Kapitel, wie auch später bei dessen Erläuterung in Kapitel 5, werden zunächst die Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln dargestellt beziehungsweise – in Kapitel 5 – erläutert und eingeordnet. Hieran anschließend folgt der Vergleich der Refraktionen zwischen der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln. Abschließend steht der Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln.

### **4.1 Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln**

An dieser Stelle werden nun die Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln getrennt voneinander dargestellt. Dies geschieht zum einen mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente und dem Bland-Altman-Plot und zum anderen mittels der Power-Vektor Analyse.

#### 4.1.1 Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung im Hellen

Um die Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen zu betrachten, wurden bei jedem Probanden zwei Refraktionen im Hellen, eine pro Termin, durchgeführt. Die Reproduzierbarkeit soll nun anhand dieser Daten zunächst mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente untersucht werden. Hierzu wurde zunächst die Differenz der sphärischen Äquivalente gebildet (Refraktion hell 1. Messung minus Refraktion hell 2. Messung) und gemäß ihrer absoluten Häufigkeit aufgetragen. Das hieraus resultierende Diagramm ist in Abbildung 11 zu sehen:

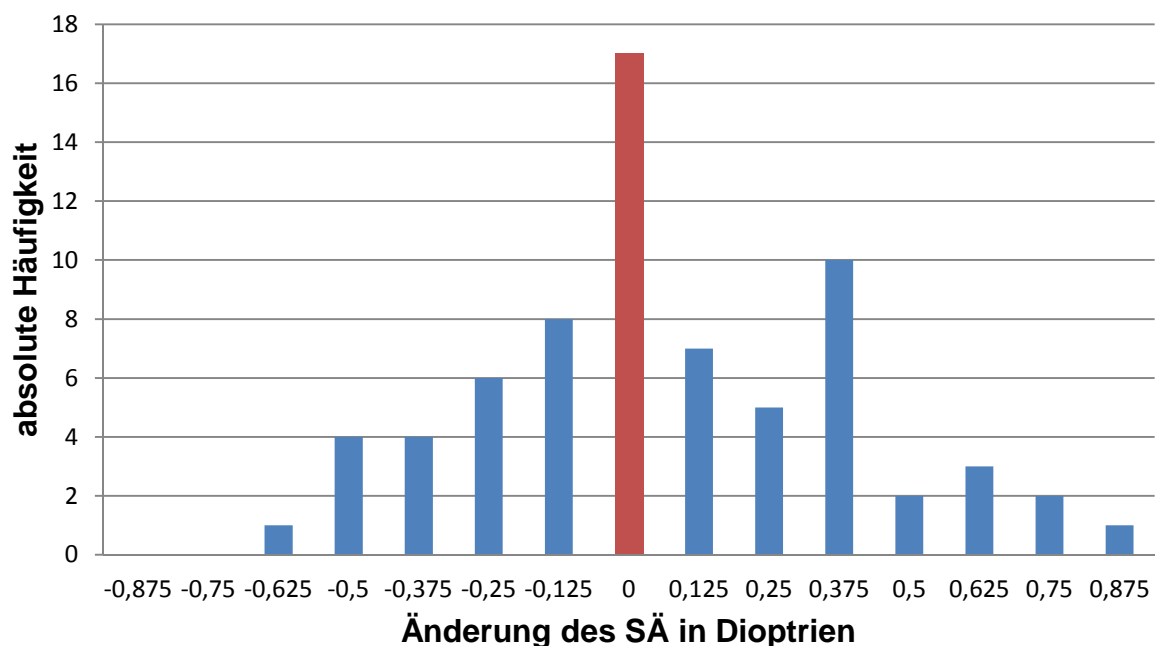


Abbildung 11: Differenz der sphärischen Äquivalente zur Reproduzierbarkeit im Hellen

Desweiteren wurde für die sphärischen Äquivalente ein Bland-Altman-Plot erstellt. Hierzu wurden zunächst die Differenzen gebildet und im Koordinatensystem gegen die Mittelwerte aufgetragen. Die rote Linie stellt den Mittelwert der Differenzen, die grünen Linien den Mittelwert  $\pm$  die zweifachen Standardabweichungen der Differenzen dar. Durch den Bland-Altman-Plot werden Aussagen über die Schwankungsbreite beider Refraktionen möglich. Zudem ist ersichtlich, ob eine Refraktion prinzipiell höher beziehungsweise tiefer misst als die andere. Überdies lässt sich ermitteln, ob die Höhe der Streuung von der SÄ abhängig ist. Der Bland-Altman-Plot zur Reproduzierbarkeit im Hellen ist in Abbildung 12 abgebildet:

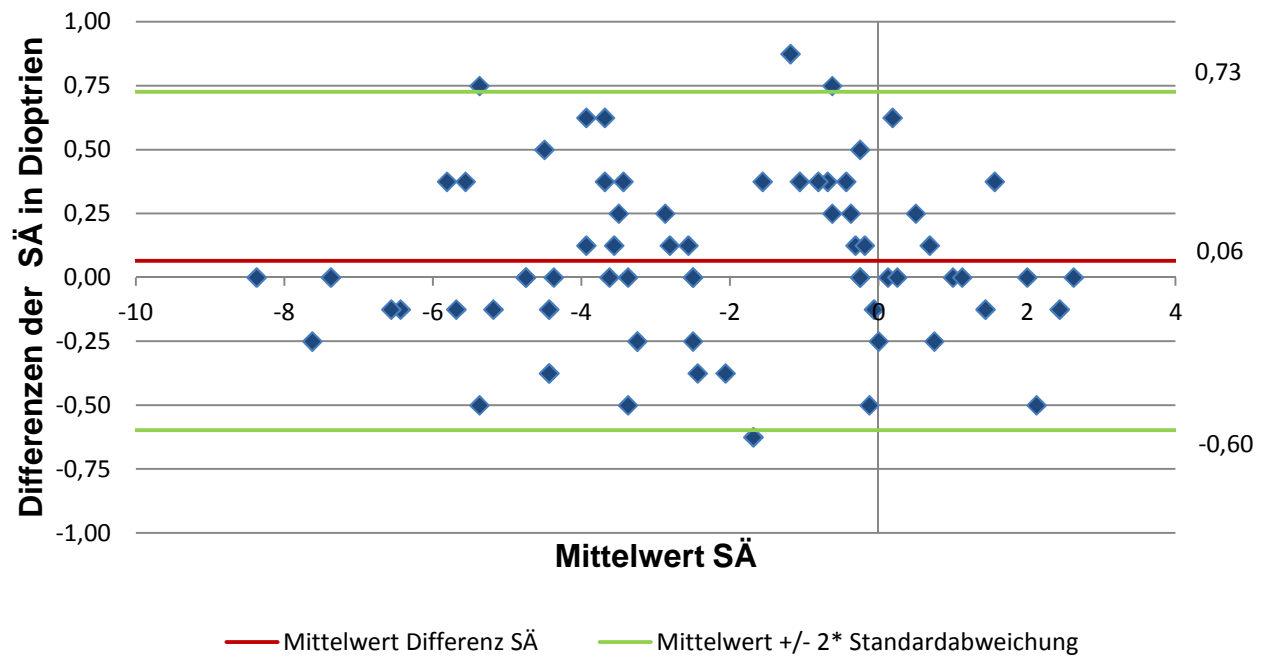


Abbildung 12: Bland-Altman-Plot zur Reproduzierbarkeit im Hellen

Desweiteren wurde die Reproduzierbarkeit mittels der Differenzen der Zylinder getestet. In Abbildung 13 ist das Zielscheibendiagramm abgedruckt, auf welchem die Differenzen der Zylinder der ersten und der zweiten Messung im Hellen dargestellt sind.



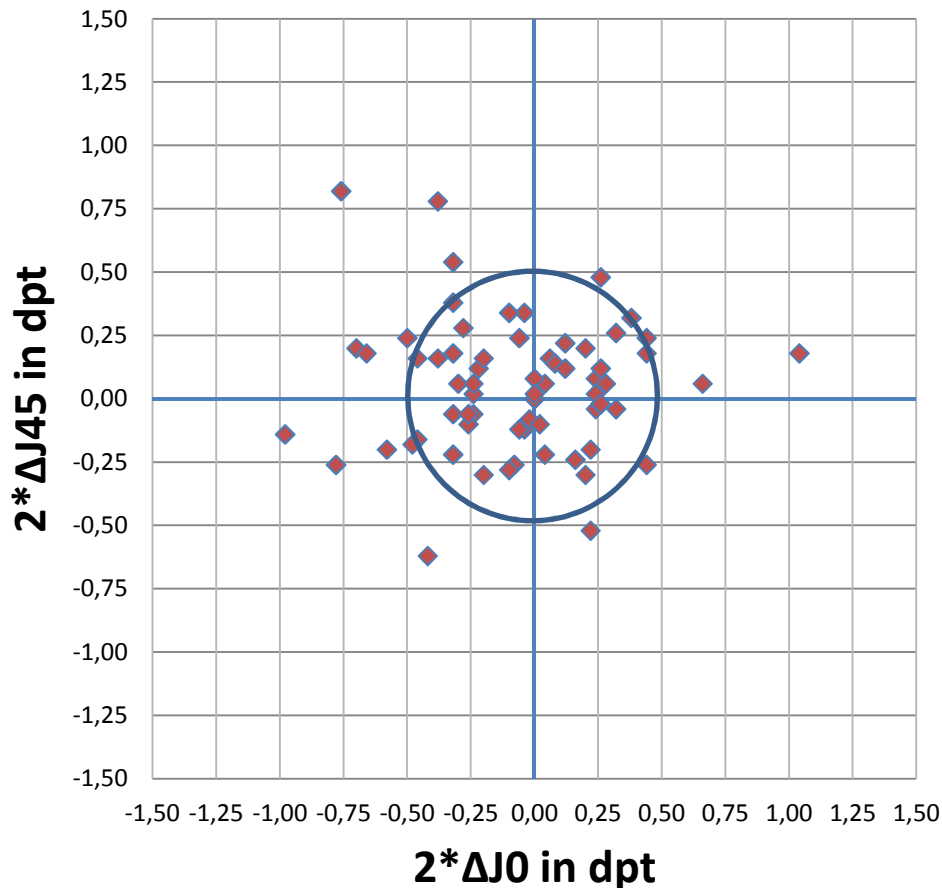


Abbildung 13: Zielscheibendiagramm der Zylinder zur Reproduzierbarkeit der Refraktion im Hellen

#### 4.1.2 Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung im Dunkeln

Um die Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung im Dunkeln zu betrachten, wurden auch für diesen Bereich zwei Refraktionen, eine pro Termin, durchgeführt. Die Reproduzierbarkeit wird nun analog zum oben beschriebenen Verfahren zum einen anhand der Differenz der sphärischen Äquivalente (Refraktion dunkel 1. Messung minus Refraktion dunkel 2. Messung) mittels eines Säulendiagramms, welches in Abbildung 14 dargestellt ist, untersucht. Desweiteren anhand eines Bland-Altman-Plots, welcher sich in Abbildung 15 findet. Zudem wird sie anhand der Zylinderdifferenzen mittels eines Zielscheibendiagramms, welches in Abbildung 16 wiedergegeben wird, analysiert.

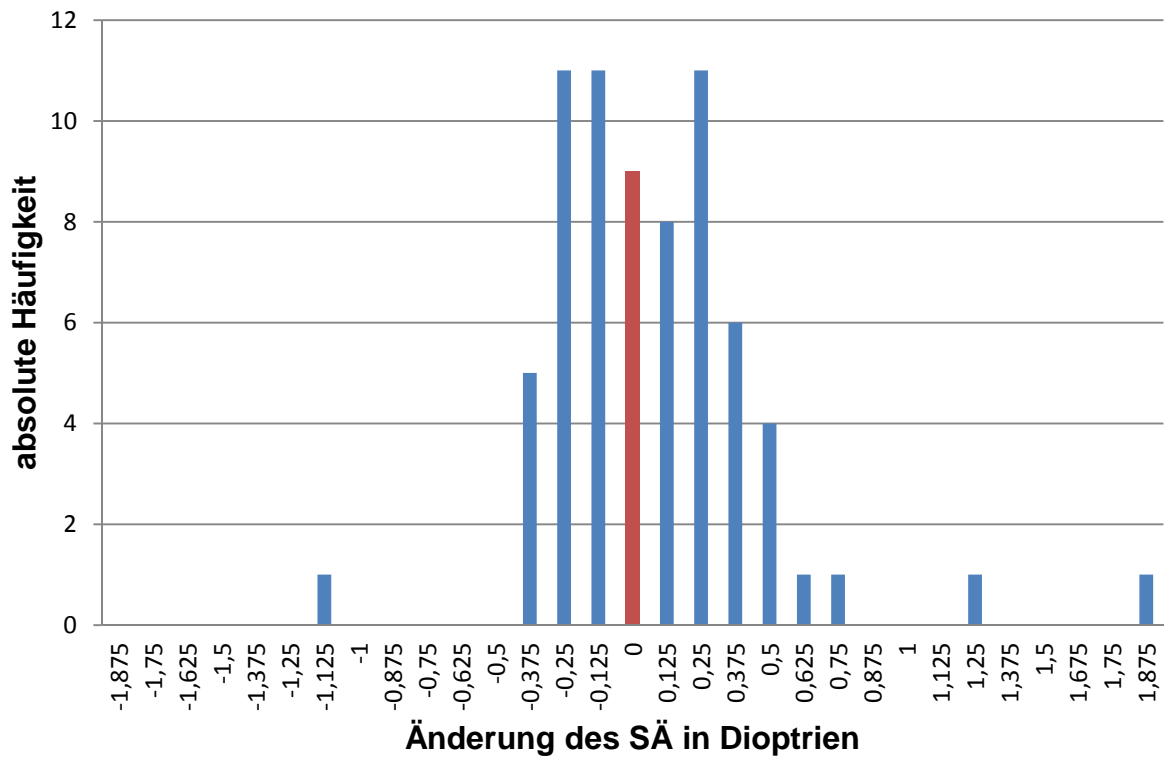


Abbildung 14: Differenz der sphärischen Äquivalente zur Reproduzierbarkeit im Dunkeln

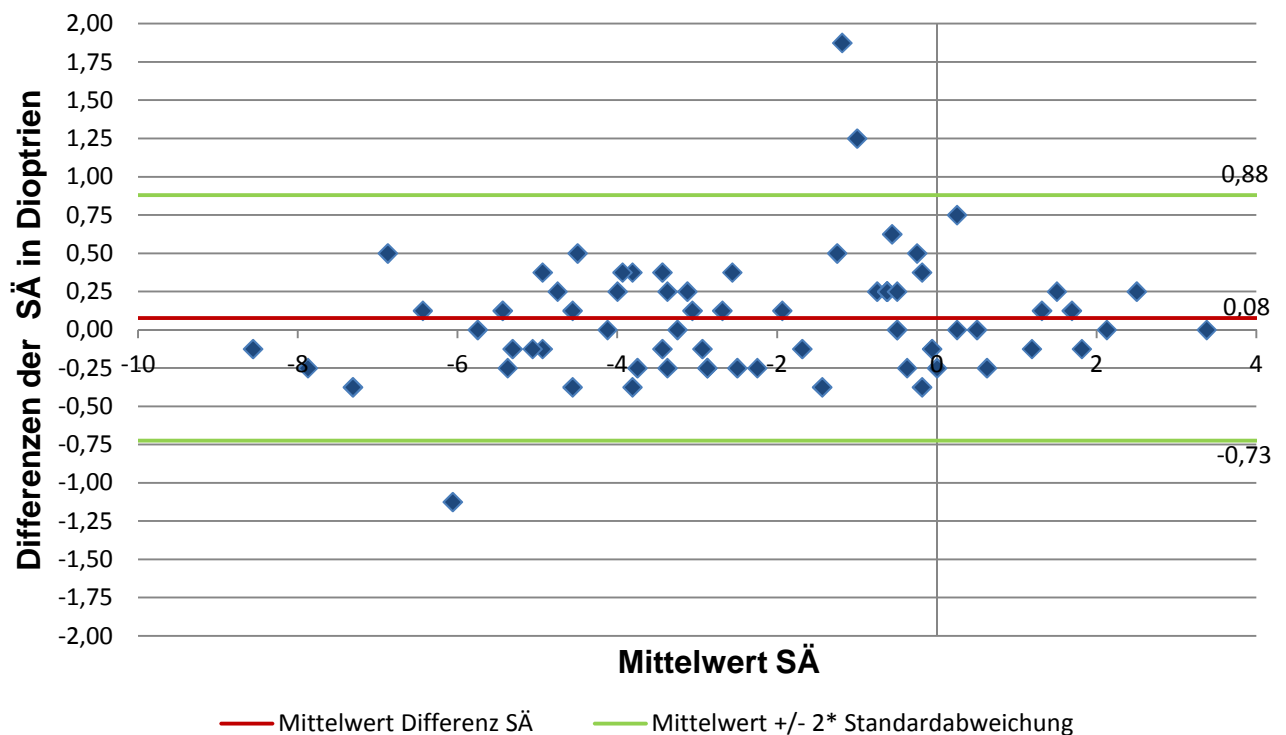


Abbildung 15: Bland-Altman-Plot zur Reproduzierbarkeit im Dunkeln

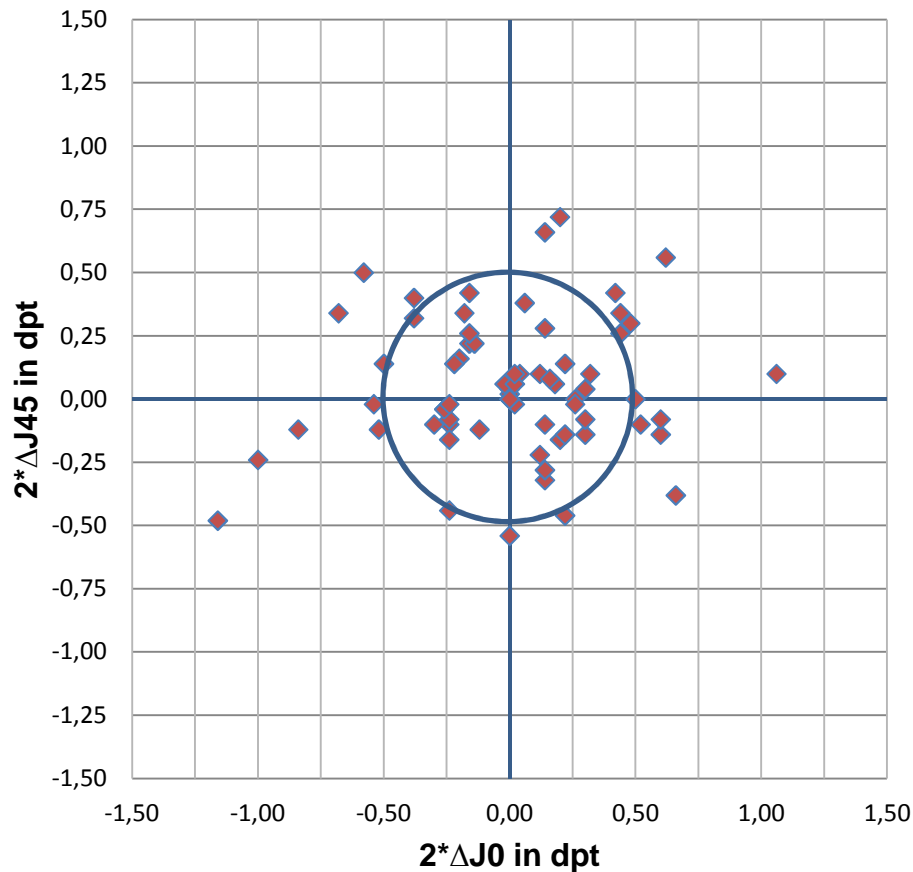


Abbildung 16: Zielscheibendiagramm der Zylinder zur Reproduzierbarkeit der Refraktion im Dunkeln

## 4.2 Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln

Hier werden nun die Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln dargestellt. Dies geschieht zum einen mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente und zum anderen mittels der Differenzen der Zylinder.

### 4.2.1 Vergleich der subjektiven Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente

Um den Vergleich der Refraktionen zwischen der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln durchzuführen, wurden, wie zu Beginn des Kapitels erläutert, die Messergebnisse der ersten subjektiven Refraktion im Dunkeln

mit der, der ersten subjektiven Refraktion im Hellen, verglichen. Die beiden Refraktionen sollen nun anhand dieser Daten zunächst mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente verglichen werden. Hierzu wurde die Differenz der sphärischen Äquivalente gebildet (Refraktion dunkel minus Refraktion hell) und gemäß ihrer absoluten Häufigkeit aufgetragen. Das hieraus resultierende Diagramm ist in Abbildung 17 abgedruckt:

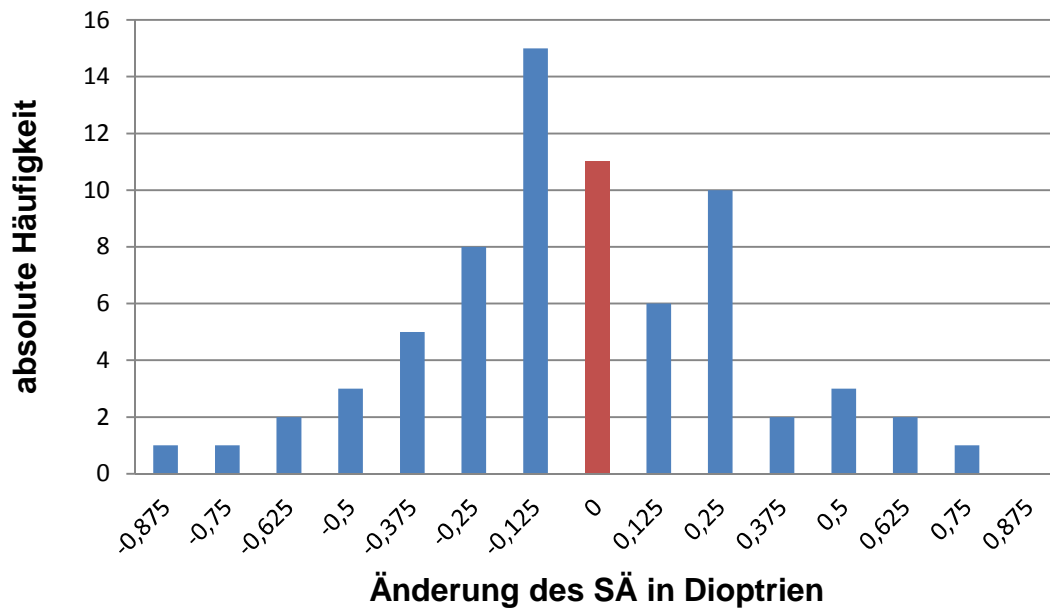
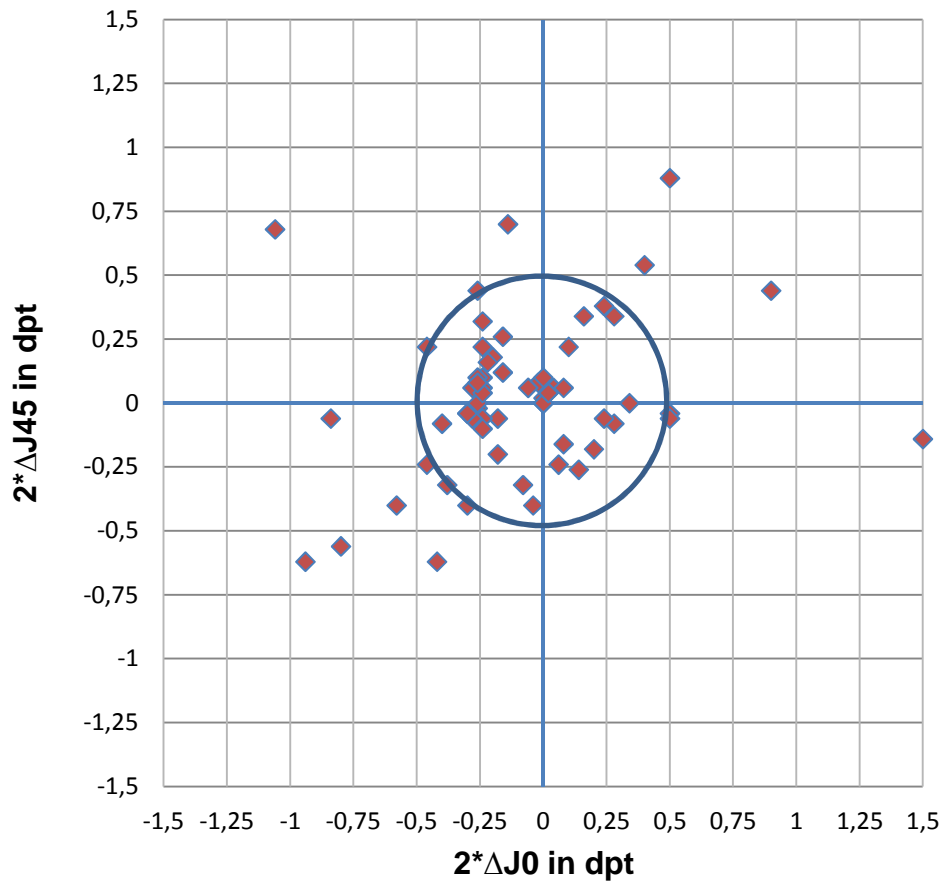


Abbildung 17: Differenz der sphärischen Äquivalente zum Vergleich der subjektiven Refraktionen im Hellen und im Dunkeln

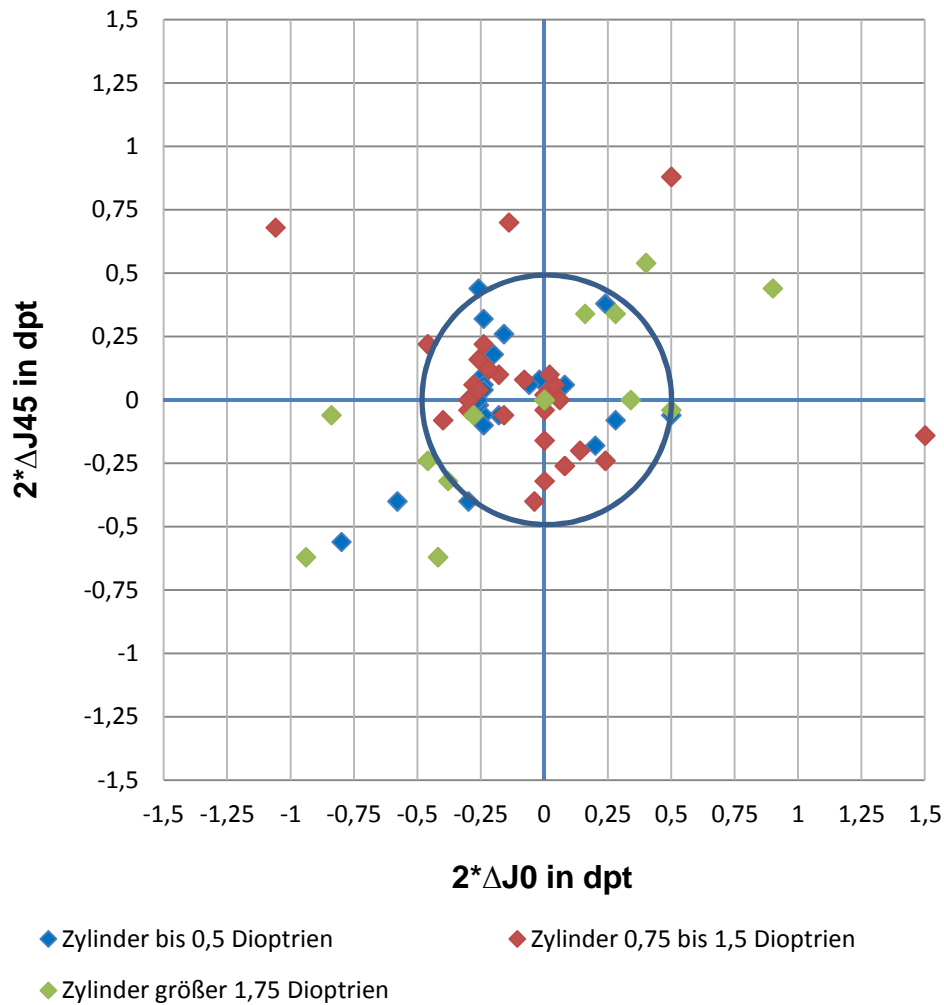
#### 4.2.2 Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der Zylinder

Desweiteren wurde ein Vergleich der beiden Refraktionen mittels der Differenzen der Zylinder durchgeführt. In Abbildung 18 ist das Zielscheibendiagramm zu sehen, auf welchem die Differenzen der Power-Vektoren der Messungen der ersten subjektiven Refraktion im Hellen und der Messungen der ersten subjektiven Refraktion im Dunkeln dargestellt sind.



**Abbildung 18: Zielscheibendiagramm der Zylinder zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und im Dunkeln**

Um zu analysieren, welchen Einfluss die Zylinderstärke auf den Vergleich der beiden Refraktionen hat, wurde in Abbildung 19 ein Zielscheibendiagramm erstellt, welches verschiedene Zylinderstärkengruppen getrennt voneinander betrachtet. Als Ausgangswerte für die Gruppenzuordnung wurden die Werte der ersten subjektiven Messung im Hellen verwendet und mit denen im Dunkeln verglichen.



**Abbildung 19: Zielscheibendiagramm der Zylinder zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und im Dunkeln sortiert nach Zylindergruppen**

### 4.3 Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und Dunkeln

Nun werden die Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln dargestellt. Dies geschieht erneut zum einen mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente und zum anderen mittels der Differenzen der Zylinder.

#### 4.3.1 Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente

Um einen Vergleich zwischen der Autorefraktion im Hellen und im Dunkeln durchzuführen, wurden die Messergebnisse der Autorefraktion im Hellen mit denen der Autorefraktion im Dunkeln verglichen. Auf Basis dieser Daten wird der Vergleich der Refraktionen an dieser Stelle zunächst mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente (Refraktion dunkel minus Refraktion hell) durchgeführt. Hierzu wurde die Differenz der sphärischen Äquivalente gebildet und gemäß ihrer absoluten Häufigkeit aufgetragen. Das hieraus resultierende Diagramm ist in Abbildung 20 zu sehen:

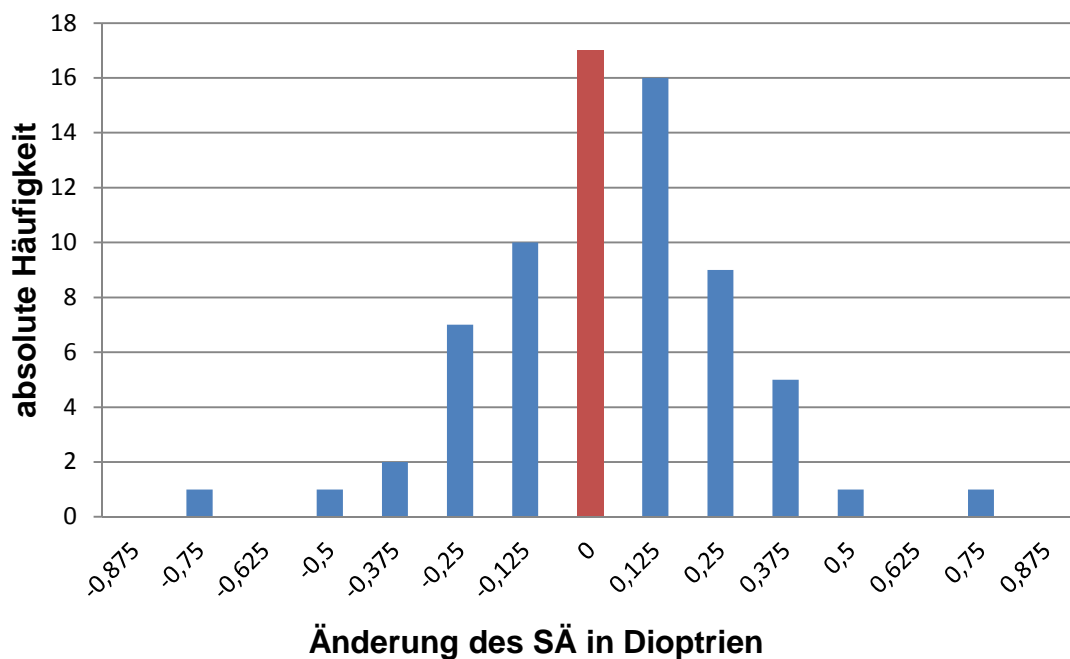
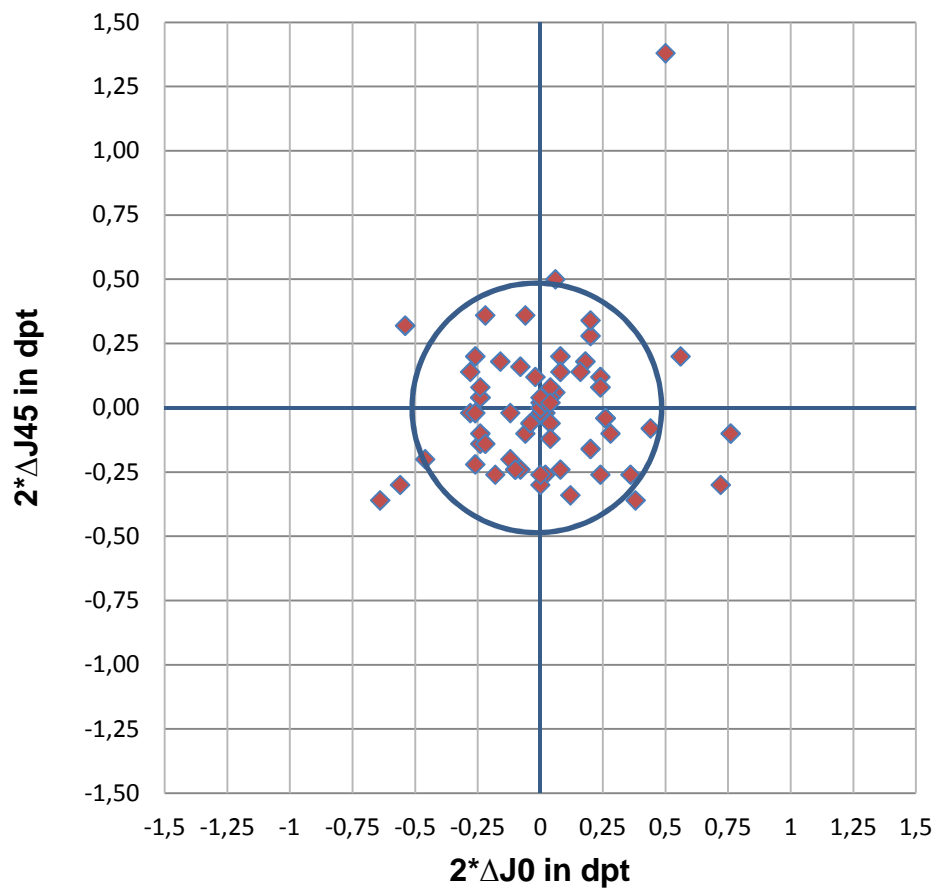


Abbildung 20: Differenz der sphärischen Äquivalente zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln

#### 4.3.2 Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der Zylinder

Überdies wurde ein Vergleich der beiden Autorefraktionen mittels der Differenzen der Zylinder durchgeführt. In Abbildung 21 ist das Zielscheibendiagramm zu sehen, auf welchem die Differenzen der Power-Vektoren der Messung der objektiven

Autorefraktion im Hellen und der Messung der objektiven Autorefraktion im Dunkeln dargestellt sind.



**Abbildung 21: Zielscheibendiagramm der Zylinder zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiver Refraktion im Hellen und im Dunkeln**



## **5. Diskussion**

Im Folgenden sollen die im vierten Kapitel dargestellten Ergebnisse zunächst erläutert werden. Im Anschluss hieran erfolgen Erwägungen über Komplikationen und potenzielle Fehlerquellen.

### **5.1 Erläuterung der Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln**

In diesem Unterkapitel werden nun die Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Hellen und im Dunkeln getrennt voneinander erläutert. Zur Einordnung sei an dieser Stelle erwähnt, dass Baader bezüglich der Reproduzierbarkeit der Kreuzzylindermethode in seiner Untersuchung feststellen konnte, dass bei der Kreuzzylinderrefraktion 86 Prozent aller Messwerte innerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreises lagen. Die übrigen 14 Prozent wiesen eine totale astigmatische Differenz zwischen 0,5 und 0,75 Dioptrien auf<sup>25</sup>.

#### **5.1.1 Erläuterung der Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit Refraktionsbestimmung im Hellen**

Die Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung wurde für den photopischen Bereich zum einen mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente und dem Bland-Altman-Plot und zum anderen mittels der Differenzen der Zylinder untersucht. Abbildung 11 zeigt das Säulendiagramm, welches die Ergebnisse für den Vergleich über die Differenz der sphärischen Äquivalente darstellt. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass bei 17 von 70 Differenzen keine Änderungen der sphärischen Äquivalente festzustellen war. Ein Blick auf die Messdaten zeigt jedoch, dass lediglich in 14 dieser 17 Fälle identische sphärische und zylindrische Messwerte ursächlich waren. Dem Diagramm ist desweiteren zu entnehmen, dass 26 Differenzen in einem Streubereich mit  $\pm 0,25$  Dioptrien lagen, der auf die natürlichen

---

<sup>25</sup> Vgl. hierzu: Baader, S. 25-32.

Schwankungen der Umfeldbedingungen (Tagesform von Prüfling und Prüfer, Dynamik des Sehens) zurückgeführt werden kann. Für 20 Messungen ergaben sich Werte von bis zu  $\pm 0,5$  Dioptrien, die in einem zu tolerierenden Bereich liegen. Bei 7 von 70 Messungen wurden Differenzen zwischen  $\pm 0,625$  Dioptrien und  $\pm 0,875$  Dioptrien ermittelt. Ein Blick auf die Messdaten zeigt, dass in 4 dieser 7 Fälle die Hauptursache in den verschiedenen Werten für die Sphäre lag, in den übrigen 3 in den verschiedenen Zylinderwerten.

In Abbildung 12 ist der Bland-Altman-Plot zur Reproduzierbarkeit im Hellen zu sehen. Diesem ist zu entnehmen, dass der Mittelwert der Differenzen der sphärischen Äquivalente mit 0,06 Dioptrien nahe am Nullpunkt liegt. Der Mittelwert plus die doppelte Standardabweichung der Differenzen liegt bei 0,73 Dioptrien, der Mittelwert minus die doppelte Standardabweichung der Differenzen bei -0,66 Dioptrien. Die einfache Standardabweichung liegt folglich bei 0,33 Dioptrien. Betrachtet man die Lage der Messdatenpunkte wird deutlich, dass 66 von 70 innerhalb der Übereinstimmungsgrenzen (Mittelwert  $\pm$  doppelte Standardabweichung) liegen. Für 94,3 Prozent der Messungen kann folglich davon ausgegangen, dass eine Reproduzierbarkeit mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit gegeben ist. Die 4 Messdatenpunkte, welche außerhalb der Übereinstimmungsgrenzen liegen, entsprechen 4 der 7 Messdatenpunkte, die bereits in Abbildung 11 außerhalb des tolerierbaren Bereichs lagen. Ein Blick auf die Daten zeigt, dass in 2 der 4 Fälle die verschiedenen Werte für die Sphäre, in den übrigen beiden verschiedene Zylinderwerte die Hauptursache hierfür waren.

In Abbildung 13 ist das Zielscheibendiagramm der Zylinder zur Reproduzierbarkeit der Refraktion im Hellen abgebildet. Diesem ist zu entnehmen, dass die Messpunkte relativ gleichmäßig um den Nullpunkt streuen, einige sich sogar auf dem Nullpunkt befinden. Insgesamt liegen 77,1 Prozent der Messungen innerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreises. Die übrigen 22,9 Prozent weisen eine totale astigmatistische Differenz zwischen  $\pm 0,5$  Dioptrien und  $\pm 1,04$  Dioptrien auf. Bei 9 dieser 16 Messungen waren hierbei die unterschiedlichen Zylinderstärken hauptverantwortlich, bei den übrigen 7 die unterschiedlichen Zylinderachsen.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit den bereits erwähnten Ergebnissen von Baader zur Reproduzierbarkeit der Kreuzzylindermethode fällt auf, dass bei der Kreuzzylindermethode tendenziell etwas mehr Messwerte innerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreise liegen und die Streuung etwas geringer ist.

### 5.1.2 Erläuterung der Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung im Dunkeln

Die Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung wurde für den mesopischen Bereich analog zum photopischen zum einen mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente und dem Bland-Altman-Plot und zum anderen mittels der Differenzen der Zylinder untersucht. Abbildung 14 zeigt das Säulendiagramm, welches die Ergebnisse für den Vergleich über die Differenz der sphärischen Äquivalente abbildet. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass bei 9 von 70 Differenzen keine Änderung der sphärischen Äquivalente feststellbar war. Ein Blick auf die Messdaten zeigt jedoch, dass lediglich in 7 dieser 9 Fälle identische sphärische und zylindrische Messwerte ursächlich waren. Dem Diagramm ist zudem zu entnehmen, dass 41 Differenzen in einem Streubereich von  $\pm 0,25$  Dioptrien lagen, der auf die natürlichen Schwankungen der Umfeldbedingungen (Tagesform von Prüfling und Prüfer, Dynamik des Sehens) zurückgeführt werden kann. Für 15 Messungen ergaben sich Werte von bis zu  $\pm 0,5$  Dioptrien, die in einem zu tolerierenden Bereich liegen. Bei 5 von 70 Messungen wurden Differenzen zwischen  $\pm 0,625$  Dioptrien und  $\pm 1,875$  Dioptrien ermittelt. Ein Blick auf die Messdaten zeigt, dass sich in allen 5 Fällen keine Aussagen über die Hauptursache treffen lassen, da sowohl die Werte für die Sphäre als auch die Zylinderwerte stark variierten. Beim extremsten Ausreißer mit einer Differenz der sphärischen Äquivalente von  $+1,875$  Dioptrien änderte sich beispielsweise sowohl die Sphäre mit 1,25 Dioptrien als auch der Zylinderwert mit 1,25 Dioptrien.

In Abbildung 15 ist der Bland-Altman-Plot zur Reproduzierbarkeit im Dunkeln abgebildet. Diesem ist zu entnehmen, dass der Mittelwert der Differenzen der sphärischen Äquivalente mit 0,08 Dioptrien nahe am Nullpunkt liegt. Der Mittelwert plus die doppelte Standardabweichung der Differenzen liegt bei 0,88 Dioptrien, der Mittelwert minus die doppelte Standardabweichung der Differenzen bei -0,73 Dioptrien. Die einfache Standardabweichung liegt folglich bei 0,4 Dioptrien. Blickt man auf die Lage der Messdatenpunkte wird deutlich, dass 67 von 70 innerhalb der Übereinstimmungsgrenzen (Mittelwert  $\pm$  doppelte Standardabweichung) liegen. Für 95,7 Prozent der Messungen kann folglich davon ausgegangen, dass eine Reproduzierbarkeit mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit gegeben ist. Die 3 Messdatenpunkte, welche außerhalb der Übereinstimmungsgrenzen liegen,

entsprechen 3 der 5 Messdatenpunkte, die bereits in Abbildung 14 außerhalb des tolerierbaren Bereichs lagen.

Abbildung 16 zeigt das Zielscheibendiagramm der Zylinder zur Reproduzierbarkeit der Refraktion im Dunkeln. Diesem kann man entnehmen, dass ähnlich wie beim Zielscheibendiagramm im Hellen die Messpunkte innerhalb des Kreises relativ gleichmäßig streuen und einige sich in unmittelbarer Nähe des Nullpunkts befinden. Insgesamt liegen 68,6 Prozent der Messungen innerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreises. Die übrigen 21,4 Prozent weisen eine totale astigmatische Differenz zwischen  $\pm 0,5$  Dioptrien und  $\pm 1,16$  Dioptrien auf. Bei 10 dieser 22 Messungen waren hierbei die Zylinderstärken hauptverantwortlich, bei weiteren 5 die Zylinderachsen, bei den restlichen 7 kann keine eindeutige Aussage getroffen werden.

## **5.2 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln**

An dieser Stelle werden nun die Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der Refraktionsbestimmung im Hellen und Dunkeln mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente sowie der Differenzen der Zylinder erläutert.

Zur Einordnung sei an dieser Stelle erwähnt, dass Degle und Hoffmann bei ihrem Vergleich der Refraktion mittels Kreuzzylindermethode feststellen konnten, dass in den meisten Fällen kaum eine Änderung der subjektiven Refraktion in der Dämmerung stattfindet. Individuell konnte sich die Refraktion jedoch sowohl in Richtung Myopie als auch in Richtung Hyperopie verändern<sup>26</sup>.

### **5.2.1 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der subjektiven Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente**

In Abbildung 17 ist das Säulendiagramm zu sehen, welchem die Ergebnisse für den Vergleich über die sphärische Äquivalente zu entnehmen sind. Hieraus ist deutlich ersichtlich, dass in 11 von 70 Fällen die Differenz der sphärischen Äquivalente 0 war. Ein Blick auf die Daten zeigt, dass in 9 von diesen 11 Fällen identische Werte

---

<sup>26</sup> Vgl. hierzu: Degle/Hofmann, S. 39.

zugrunde lagen. Bei 55,7 Prozent der Messungen (39 von 70) war eine Refraktionsänderung bis zu  $\pm 0,25$  Dioptrien ausmachbar. In 23 dieser 39 Fälle war eine Verschiebung in Richtung Myopie nachzuweisen. Für den Bereich von  $\pm 0,375$  bis  $\pm 0,875$  Dioptrien ergab sich die gleiche Tendenz: Von den 20 Fällen, für die eine Refraktionsänderung dieses Ausmaßes feststellbar war, ging diese in 12 Fällen in Richtung Myopie. Ein Blick auf die Messdaten zeigt, dass in 6 dieser 12 Fälle die Hauptursache in den verschiedenen Werten für die Sphäre lag, in 3 weiteren in den verschiedenen Zylinderwerten und in den übrigen 3 sowohl in den verschiedenen Werten für die Sphären als auch in den verschiedenen Zylinderwerten. Von den 8 Fällen, bei denen eine Verschiebung in Richtung Hyperopie feststellbar war, war diese in 5 Fällen durch die verschiedenen Werten für die Sphäre begründet, in 2 Fällen durch verschiedene Zylinderwerte und in 1 Fall sowohl durch verschiedene Werte für die Zylinderstärke als auch für die Sphäre.

Mit Blick auf die Ergebnisse von Degle und Hofmann bleibt festzustellen, dass zwar – wie auch bei Degle und Hofmann – in den meisten Fällen kaum eine Änderung der subjektiven Refraktion ausmachbar war, diese jedoch – wenn vorhanden – tendenziell in Richtung Myopie ging.

### **5.2.2 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und Dunkeln mittels Differenz der Zylinder**

Dem Zielscheibendiagramm in Abbildung 18, welches die Ergebnisse der Differenzen der Zylinder illustriert, kann entnommen werden, dass lediglich in 11 von 70 Fällen Messpunkte außerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreise lagen. Folglich waren für die Mehrheit der Messungen lediglich Refraktionsänderungen in einem Bereich von  $\pm 0,5$  Dioptrien verzeichenbar. Zudem ist eine leichte Ballung der Messpunkte am Nullpunkt festzustellen, worin sich die Werte widerspiegeln, bei denen keine Refraktionsänderung auszumachen war.

Wirft man einen Blick auf Abbildung 19 wird deutlich, dass die Höhe der Refraktionsänderung in engem Zusammenhang mit den den Messwerten zugrundeliegenden Zylinderstärken steht: Bei den blauen Messdatenpunkten, welche die Zylinderstärkengruppe  $\leq 0,5$  Dioptrien zeigen, ist festzustellen, dass bis auf 2 Punkte alle Messpunkte im 0,5 Dioptrien-Kreis liegen. Bei diesen beiden Werten ist

hierfür einmal nur die Achse, welche sich um  $103^\circ$  ändert, und einmal sowohl der Zylinder als auch die Achse hauptverantwortlich. Überdies ist eine Ballung der Punkte um den Nullpunkt ersichtlich.

Bei den roten Messdatenpunkten, welche die Zylinderstärkegruppe zwischen 0,75 Dioptrien und 1,5 Dioptrien darstellen, liegen bereits 4 Messpunkte außerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreises. Verantwortlich sind hierbei in 2 Fällen die Zylinderstärke, in einem Fall die Achse und in einem weiteren Fall sowohl die Zylinderstärke als auch die Achse. Desweiteren ist die Ballung am Nullpunkt nicht mehr so eindeutig wie für die Zylinderstärkengruppe  $\leq 0,5$  Dioptrien.

Bei den grünen Messdatenpunkten, welche die Zylinderstärkengruppe  $\geq 1,75$  Dioptrien zeigen, wird deutlich, dass 6 Messpunkte außerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreises liegen, 2 weitere auf dem Kreis und lediglich 5 im Kreis. Hauptverantwortlich für die Ausreißer ist hierbei in 4 Fällen die Zylinderstärke und in 2 Fällen die Zylinderachse. Von einer Ballung der Werte am Nullpunkt ist nicht zu sprechen, auch wenn bemerkenswerterweise ein Wert direkt auf dem Nullpunkt liegt.

Generell kann somit festgehalten werden, dass mit zunehmender Zylinderstärke die Refraktionsänderungen größer und häufiger werden.

### **5.3 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und Dunkeln**

Abschließend werden hier die Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und Dunkeln mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente sowie der Differenzen der Zylinder erläutert.

#### **5.3.1 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der sphärischen Äquivalente**

Abbildung 20 zeigt das Säulendiagramm, welchem die Ergebnisse des Vergleichs zwischen der Autorefraktion im Hellen und im Dunkeln mittels der Differenz der sphärischen Äquivalente zu entnehmen sind. Augenscheinlich ist, dass in 17 von 70

Fällen die Differenz der sphärischen Äquivalente 0 war. Ein Blick auf die Messdaten zeigt, dass in 15 dieser 17 Fälle identische Messdaten zugrunde lagen. In 42 von 70 Fällen, was 60 Prozent entspricht, konnte eine Refraktionsänderung von bis zu  $\pm 0,25$  Dioptrien festgestellt werden. Im Gegensatz zu den in 5.2.1 erläuterten Ergebnissen zum subjektiven Vergleich der Refraktionen (hell/dunkel), war beim objektiven Vergleich der Refraktionen tendenziell (25 von 42 Messungen) eine Verschiebung in Richtung Hyperopie nachzuweisen. Für den Bereich von  $\pm 0,375$  bis  $\pm 0,75$  Dioptrien wurde diese Tendenz für den objektiven Bereich bestätigt: Von den 11 Ausreißern gingen 7 in Richtung Hyperopie und 4 in Richtung Myopie. Von den 7 Fällen, die in Richtung Hyperopie gingen, waren 3 durch unterschiedliche Werte für die Sphäre, einer durch unterschiedliche Zylinderwerte und 3 durch sowohl unterschiedliche Sphäre- als auch Zylinderwerte bedingt. Von den 4 Fällen, die in Richtung Myopie gingen, waren 2 durch unterschiedliche Werte für die Sphäre, einer durch unterschiedliche Zylinderwerte und einer durch sowohl unterschiedliche Sphäre- als auch Zylinderwerte bedingt.

### **5.3.2 Erläuterung der Ergebnisse zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln mittels Differenz der Zylinder**

In Abbildung 21 findet sich das Zielscheibendiagramm zur Illustration der Ergebnisse der Differenzen der Zylinder. Aus diesem ist ersichtlich, dass lediglich in 8 von 70 Fällen Messpunkte außerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreises lagen, wobei 1 Ausreißer auffällig weit vom Nullpunkt lag. Bei diesem war sowohl die Zylinderstärke als auch die Achse verantwortlich. In den übrigen 7 Fällen war viermal die Zylinderstärke, einmal die Achslage und zweimal sowohl Zylinderstärke als auch Achslage verantwortlich. Für die Mehrheit der Messungen ergaben sich jedoch – wie bereits erwähnt – Refraktionsänderungen in einem Bereich von  $\pm 0,5$  Dioptrien. Überdies war eine deutliche Ballung der Messpunkte am Nullpunkt festzustellen, welche die Werte anzeigt, bei denen der Vergleich der Refraktionen zu konstanten Werten führte. Im Vergleich zu den in 5.2.2 angeführten Ergebnissen zum subjektiven Vergleich der Refraktionen (hell/dunkel), war beim objektiven die Streuung geringer, was darauf schließen lässt, dass die objektiven Refraktionsänderungen kleiner als die subjektiven waren.

## 5.4 Komplikationen

Im Folgenden werden die im Verlauf der Messungen aufgetretenen Komplikationen kurz erläutert. Die erste nennenswerte Komplikation ergab sich hierbei für die Messungen im photopischen Bereich: Bei der Anwendung der modifizierten Fan and Block Methode musste häufig festgestellt werden, dass bei der Suche nach der schwärzesten Strichrichtung, sprich Zylinderachse, speziell bei kleineren Zylindern keine genaue Angabe der schwärzesten Richtung möglich war. Dies lag daran, dass am Strahlenkranz mehrere Striche als am schwärzesten erschienen. Für die Messungen im mesopischen Bereich ergab sich die gleiche Problematik, wobei diese aufgrund des geringeren Kontrasts zwischen Umfeld und Infeld der Testzeichen noch ausgeprägter war. Zudem erforderten die Messungen im mesopischen Bereich aufgrund der veränderten Lichtverhältnisse eine kurze Eingewöhnungsphase der Prüflinge. Überdies hatten die veränderten Lichtverhältnisse auch zur Folge, dass die Bedienung des Phoropters durch den Prüfer deutlich erschwert wurde. Auch war es dem Prüfer nicht möglich die korrekte Einhaltung der Sitz- und Durchblickposition des Prüflings zu überwachen. Hinzu kam, dass aufgrund der unwillkürlichen Augenbewegungen die Prüflinge bei höheren Visusstufen Schwierigkeiten hatten, die Öffnung der Landoltringe zu fixieren, was den Eindruck eines rotierenden Kreises zur Folge hatte.

## 5.5 Fehlerquellen

An dieser Stelle werden nun potenzielle Fehlerquellen genannt, welche möglicherweise zur Verfälschung der Messergebnisse führen konnten. Zum einen muss hierbei die bereits oben erwähnte Komplikation angeführt werden, welche darin bestand, dass der Prüfer bei der Suche nach der schwärzesten Richtung auf die Angaben des Prüflings angewiesen war. Zwar stellt dies den großen Vorteil der modifizierten Fan and Block Methode gegenüber der Kreuzzylindermethode dar, da der Prüfling seinen Astigmatismus aus persönlicher Sicht sehen und beschreiben kann, jedoch kann dies stellenweise speziell bei kleinen Zylindern zu Komplikationen führen, wenn der Prüfling keine genauen Angaben zur Achslage machen kann, da mehrere Strahlen eine stärkere Schwärzung aufweisen. Dies hatte zur Folge, dass



---

möglicherweise nicht ganz genaue Achsen, sofern keine Visusverschlechterung eintrat, in die Messergebnisse einfließen.

Eine weitere potenzielle Fehlerquelle liegt im für die Messungen verwendeten Monitor, welcher eine Umfeldleuchtdichte von  $360 \text{ cd/m}^2$  aufwies. Die bereits erwähnte DIN EN ISO 8596 fordert jedoch für Messungen im photopischen Bereich eine Umfeldleuchtdichte von maximal  $320 \text{ cd/m}^2$ . Die Begrenzung nach oben wurde gewählt, da eine zu hohe Umfeldleuchtdichte zur Verkleinerung der Pupillen des Prüflings und einer damit einhergehenden Erhöhung der Abbildungstiefe der Prüflingsaugen führt, was wiederum ein weniger genaues Refraktionsergebnis zur Folge hat<sup>27</sup>. In der durchgeführten Untersuchung lag die durchschnittliche Pupillenweite für die Messungen im photopischen Bereich bei 4,67 mm.

---

<sup>27</sup> Vgl. hierzu: Diepes, S.72.

## 6. Fazit

Die vorliegende Arbeit hatte sich zum Ziel gesetzt die subjektive Refraktionsänderung anhand eines Vergleichs der Refraktion bei mesopischen und photopischen Bedingungen zu untersuchen, wobei im Gegensatz zu Degle und Hoffmann nicht die Kreuzzylindermethode sondern die modifizierte Fan and Block Methode zur Durchführung der subjektiven Refraktionen herangezogen wurde. Es sollte untersucht werden, ob sich die Ergebnisse von Degle und Hofmann aus dem Jahr 2009 bestätigen lassen, welchen zufolge keine gültige Aussage dazu getroffen werden könne, ob das Auge in der Dämmerung myoper werde oder nicht: Zwar konnten von Degle und Hofmann – wie bereits erwähnt – subjektiv geringe Refraktionsänderungen gemessen werden, jedoch ging die Refraktion in der Dämmerung nach objektiven Berechnungen in Richtung Hyperopie.

Die vorliegende Untersuchung kam im Gegensatz zu Degle und Hofmann zu dem Ergebnis, dass in der Dämmerung tendenziell eine geringe Änderung (im Bereich bis -0,5 Dioptrien) der subjektiven Refraktion in Richtung Myopie stattfindet. Überdies konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender Zylinderstärke die Refraktionsänderungen größer und häufiger werden. Im Konsens mit Degle und Hofmann konnte belegt werden, dass beim objektiven Vergleich der Refraktionen in der Dämmerung tendenziell eine geringe Verschiebung (im Bereich bis +0,5 Dioptrien) in Richtung Hyperopie festzustellen ist. Bei der Auswertung mittels Power-Vektor Analyse konnte zudem ermittelt werden, dass im Vergleich zum subjektiven Vergleich der Refraktionen die Streuung der Messwerte geringer ist, was darauf schließen lässt, dass die objektiven Refraktionsänderungen kleiner als die subjektiven sind.

Bezüglich der Reproduzierbarkeit der modifizierten Fan and Block Methode im Vergleich zur Kreuzzylindermethode konnte überdies festgestellt werden, dass bei der Kreuzzylindermethode bezüglich der Zylinderwerte tendenziell etwas mehr Messwerte innerhalb des 0,5 Dioptrien-Kreise liegen und die Streuung etwas geringer ist.

Abschließend kann festgehalten werden, dass es aufgrund der nachweisbaren Refraktionsänderungen sinnvoll ist, individuell subjektiv zu überprüfen, ob und in

welchem Ausmaß diese abhängig von den Beleuchtungsbedingungen vorliegen, um eine kunden- und situationsgerechte Versorgung zu gewährleisten.

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Nutzung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder anderen Quellen entnommen sind, sind als solche eindeutig kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht veröffentlicht und noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt worden.

Aalen, Juli 2012

.....

Tobias Gürtler

---

## Literaturverzeichnis

- Baader, M. (2012). Vergleich zwischen Kreuzzylindermethode und modifizierter Zylindernebelmethode.
- Degle, S., & Hofmann, Y. (2009). Abhängigkeit der Refraktion von Beleuchtung und Pupillendurchmesser. *DOZ - Deutsche Optikerzeitung* (8-2009), S. 38-41.
- Diepes, H. (2004). *Refraktionsbestimmung* (Bde. 3., komplett überarbeitete Auflage). Heidelberg: DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH.
- Epstein, D. (1982). Die Akkommodation als Hauptursache der Nachtmyopie. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* (11), S. 400-401.
- Hartmann, E. (1970). *Beleuchtung und Sehen am Arbeitsplatz*. Wilhelm Goldmann Verlag.
- Richards, O. W. (1978). Night Myopia at Night Automobile Luminances: Final Report. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, S. 469-470.
- Schober, H. (1947). Die Nachtmyopie und ihre Ursachen. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology* (148), S. 171-186.
- Thibos, L. N., Wheeler, W., & Horner, D. (1997). Power Vectors: An Application of Fourier Analysis to the Description and Statistical Analysis of Refractive Error. *Optometry and Vision Science* (74), S. 367-375.
- Wesemann, W. (2005). Mathematische Anmerkungen. *DOZ-Deutsche Optikerzeitung* (3-2005), S. 40-44.
- Wesemann, W. (2004). Moderne Autorefraktometer im Vergleich. *Z. prakt. Augenheilkd.* 25: 7-16 .

## Normen

- DIN EN ISO 8596: 1996: Augenoptik – Sehschärfeprüfung – Das Normsehzeichen und seine Anwendung
- DIN EN ISO 8597: 1996: Optik und optische Instrumente – Sehschärfeprüfung – Verfahren zum Anschluss von Sehzeichen
-

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Strahlenfigur nach Snellen.....	4
Abbildung 2: Strahlenfigur mit Maddox-V .....	6
Abbildung 3: Autorefraktometer Huvitz HRK-7000A .....	10
Abbildung 4: Strahlenkranzfigur nach Baader .....	11
Abbildung 5: Strahlenkranzfigur mit Punkt, Dreieck und vier zusätzlichen Balkengruppen .....	13
Abbildung 6: Strahlenkranzfigur, modifiziert für den mesopischen Bereich .....	13
Abbildung 7: Sehtesttafel mit Landolttringen, Visusstufen für 5 m Prüferentfernung ....	17
Abbildung 8: Kennzeichnung von Hornhaut- und Pupillendurchmesser im photopischen Bereich .....	18
Abbildung 9: Vektorenzerlegung der zylindrischen Korrektur.....	20
Abbildung 10: Exemplarische Zielscheibendiagramm zur graphischen Auswertung einer Power-Vektor Analyse .....	22
Abbildung 11: Differenz der sphärischen Äquivalente zur Reproduzierbarkeit im Hellen .....	25
Abbildung 12: Bland-Altman-Plot zur Reproduzierbarkeit im Hellen.....	26
Abbildung 13: Zielscheibendiagramm der Zylinder zur Reproduzierbarkeit der Refraktion im Hellen .....	27
Abbildung 14: Differenz der sphärischen Äquivalente zur Reproduzierbarkeit im Dunkeln .....	28
Abbildung 15: Bland-Altman-Plot zur Reproduzierbarkeit im Dunkeln.....	28
Abbildung 16: Zielscheibendiagramm der Zylinder zur Reproduzierbarkeit der Refraktion im Dunkeln .....	29
Abbildung 17: Differenz der sphärischen Äquivalente zum Vergleich der subjektiven Refraktionen im Hellen und im Dunkeln .....	30
Abbildung 18: Zielscheibendiagramm der Zylinder zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und im Dunkeln.....	31
Abbildung 19: Zielscheibendiagramm der Zylinder zum Vergleich der Refraktionen im Hellen und im Dunkeln sortiert nach Zylindergruppen .....	32
Abbildung 20: Differenz der sphärischen Äquivalente zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiven Refraktion im Hellen und im Dunkeln.....	33

---

---

Abbildung 21: Zielscheibendiagramm der Zylinder zum Vergleich der Refraktionen zwischen der objektiver Refraktion im Hellen und im Dunkeln .....	34
--	----

---